www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

PHILIPS TECHNISCH TIJDSCHRIFT

JAARGANG 31, 1970, no. 3

In memoriam Ir. S. Gradstein

Op 21 september 1970, slechts ruim een half jaar na zijn aftreden als hoofdredacteur van ons tijdschrift, is Ir. Stephan Gradstein na een kort ziekbed te Eindhoven overleden.

Met Gradstein is de laatste man heengegaan die de thans 34-jarige geschiedenis van het tijdschrift vanaf het begin van nabij heeft meegemaakt. In de bijna twintig jaar van zijn hoofdredacteurschap heeft hij, voortbouwend op de door Holst en Oosterhuis gelegde fundamenten, het tijdschrift doen uitgroeien tot wat het bij zijn aftreden geworden was.

Hij werd daartoe in staat gesteld door een zeer bijzondere combinatie van gaven en karaktereigenschappen. Hij beschikte over een uitzonderlijk taalgevoel en hij wist voor de meest weerbarstige stof de beste wijze van behandeling aan te geven, maar ook was hij picturaal begaafd en hij had een sterk gevoel voor niveau.

Wij, zijn leerlingen en vroegere medewerkers, verliezen in Stephan een moeilijk te evenaren voorbeeld en vooral een goede vriend.

J. W. Miltenburg

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Snelle schakelmagneten voor protonenbundels

H. O'Hanlon

In het protonensynchrotron van CERN lopen de protonen aan het einde van een versnellingscyclus in twintig pakketten met de lichtsnelheid in de machine rond. Sinds enige jaren is men in staat één of meer pakketten uit de ring te dirigeren zonder de andere te verstoren. Dit is mogelijk geworden dank zij de ontwikkeling van zeer snelle schakelmagneten, de zg. „kicker magnets". Deze magneten leken een geschikt onderwerp voor dit tijdschrift, aangezien zij een boeiend voorbeeld vormen van de toepassing van ferrieten in protonensynchrotrons — bovendien geheel verschillend van de toepassing op dit gebied die kort geleden is besproken. De heer O'Hanlon van CERN was zo vriendelijk voor ons het hier volgende artikel te schrijven. Telkens wanneer een materiaal voor een nieuw doel wordt gebruikt, kan de aandacht op andere aspecten ervan komen te vallen. In dit geval kan men speciaal naar voren brengen dat ferriet een schoon materiaal is, dat in ultrahoogvacuüm kan worden gebruikt.

Inleiding

In circulaire versnellingsmachines, en met name in de grote synchrotrons, vormt zowel de injectie van de deeltjes in de ring vóór de versnelling als ook de extractie ervan daarna, een delicaat probleem. Voor deze doeleinden gebruikt men thans op grote schaal zeer snelle schakelmagneten („beam kicker magnets"). Deze apparaten kan men thans vrijwel als onmisbaar beschouwen voor de vooruitgang van de hoge-energiefysica. In het ideale geval levert de schakelmagneet een rechthoekige impuls van magnetische flux, waardoor de deeltjesbundel gedurende een nauwkeurig bepaald, kort tijdsinterval in een nauwkeurig bepaalde richting wordt afgebogen.

Fig. 1 moge als illustratie dienen van het veelvuldige gebruik dat men van snelle schakelmagneten denkt te maken; in deze figuur is het versnellercomplex van CERN schematisch weergegeven. Dit complex bestaat uit het protonensynchrotron *CPS*, waarin protonen versneld kunnen worden tot bijna 30 GeV, en de snijdende opslagringen („intersecting storage rings") *ISR*, waarin protonen van tegengestelde omloopzin zullen worden opgeslagen. (De bedoeling daarvan is frontale botsingen tussen protonen te bewerkstelligen in de snijpunten van de beide ringen.) Het protonensynchrotron is sinds 1959 in gebruik voor hoge-energie-experimenten[1]. In de toekomst zullen de protonen daarin worden geïnjecteerd met een „aanjaagsynchrotron" van 800 MeV (*PSB* in fig. 1), dat men in 1972 in werking hoopt te kunnen stellen. Met de bouw van de opslagringen vordert men snel; men verwacht in het begin van 1971 de eerste bundel te kunnen injecteren. In fig. 1 zijn de zes zones aangegeven (*a* t/m *f*) waarin snelle schakelmagneten worden of zullen worden gebruikt om protonen van de ene baan in de andere te sturen.

In *fig. 2* is schematisch weergegeven hoe een snelle schakelmagneet wordt gebruikt, en wel voor het geval van een synchrotron. Daarin lopen de protonen rond in pakketten (als gevolg van het feit dat de versnelling plaatsvindt door elektrische wisselvelden). In fig. 2 is verondersteld dat men één pakket wil extraheren. Gedurende de passage van dit pakket wordt de schakelmagneet *K* bekrachtigd, en levert hij een constant veld dat het pakket van de evenwichtsbaan afbuigt; vóór en na de passage is het veld nul. Deze afbuiging, hoewel klein, is voldoende om het pakket naar een sterke gelijkstroom-afbuigmagneet *M* te dirigeren, die het verder wegbuigt van de leivelden van het synchrotron. Wil men meer dan één pakket afbuigen, dan kan men de schakelmagneet langer bekrachtigen. De injectie van een bundel in een versneller- of opslagring geschiedt op dezelfde wijze in omgekeerde richting.

De eisen die men aan de stijg- en de daaltijd van de fluximpuls stelt, hangen af van de toepassing. Bij de extractie uit een synchrotron b.v., moet men bij voorkeur een discreet aantal pakketten afbuigen. De

H. O'Hanlon, M. Sc., medewerker van de Intersecting Storage Rings Division van CERN, Genève.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stijg- en de daaltijd moeten dan korter zijn dan de periode tussen twee opeenvolgende pakketten (50-200 ns). In het geval van een homogene (dus niet in pakketten verdeelde) bundel (b.v. de opgeslagen bundel in een opslagring) bepalen de stijg- en de daaltijd het rendement van de extractie: deeltjes die de quentie, b.v. 1 impuls per 1 à 3 seconden. In elektronensynchrotrons werken zij veel sneller, b.v. met 60 impulsen per seconde.

Een stijgtijd van omstreeks 100 ns houdt in dat de fluximpuls Fourier-componenten bevat van omstreeks 10 MHz. Elk onderdeel, en in het bijzonder de mag-

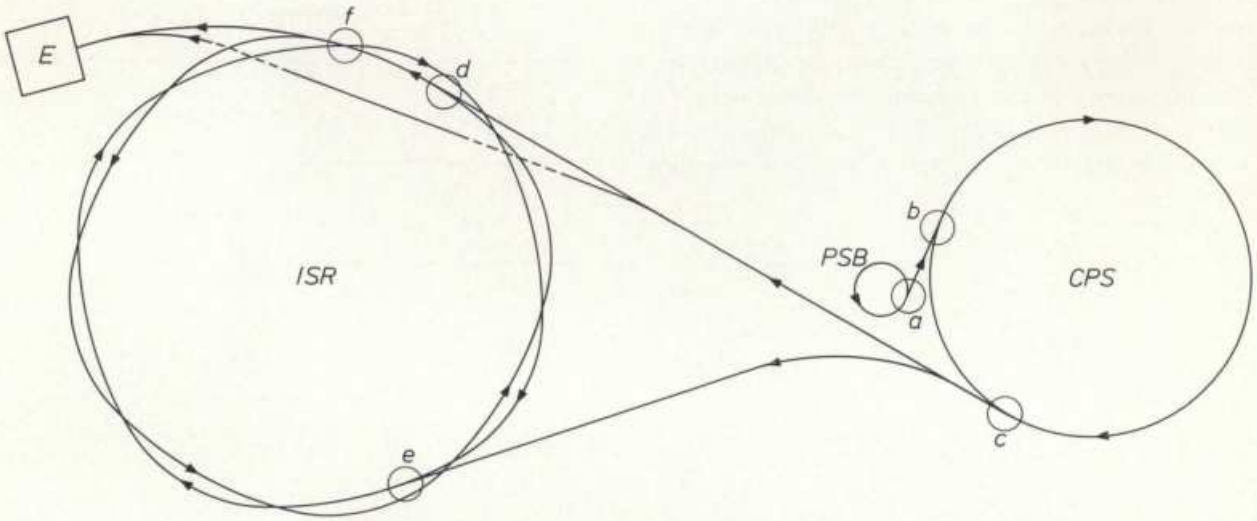


Fig. 1. Het versnellercomplex van CERN zoals het er in de naaste toekomst uit zal zien. De protonen worden in een „aanjaagsynchrotron" („proton synchrotron booster") *PSB* voorversneld en vervolgens inhet hoofdsynchrotron *CPS* versneld tot ongeveer 30 GeV. De protonen van vele synchrotron-omlopen zullen in de twee elkaar snijdende opslagringen *ISR* opgeslagen worden; in de snijpunten van de opslagringen zullen bundelbotsingsexperimenten worden uitgevoerd. *E* hal voor experimenten. Snelle schakelmagneten van de in dit artikel besproken soort worden of zullen worden gebruikt voor extractie uit het aanjaagsynchrotron (*a*), injectie in en extractie uit het hoofdsynchrotron (*b* resp. *c*), alsmede injectie in en extractie uit de opslagringen (*d* en *e* resp. *f*).

Het synchrotron *CPS* is in gebruik sinds 1959. Begin 1971 hoopt men voor het eerst bundels in de opslagringen te kunnen laten circuleren. In 1972 hoopt men het aanjaagsynchrotron (800 MeV) in gebruik te kunnen nemen. Tot nog toe worden de protonen direct vanuit een lineaire versneller van 50 MeV in het hoofdsynchrotron geïnjecteerd [1].

magneet gedurende de toe- of afneming van de flux passeren worden slechts gedeeltelijk afgebogen; zij blijven niet in de evenwichtsbaan, maar komen ook niet in de afbuigmagneet terecht en gaan verloren.

Schakelmagneten in de bestaande protonensynchrotrons werken gewoonlijk met een lage herhalingsfre-

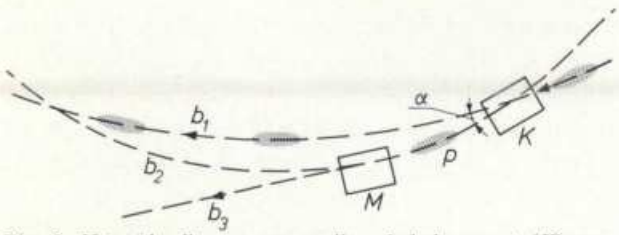


Fig. 2. Het gebruik van een snelle schakelmagneet (*K*) voor extractie uit een synchrotron. b_1 evenwichtsbaan van de protonen in het synchrotron. *K* wordt bekrachtigd gedurende de passage van een protonenpakket *p*; dit wordt over een kleine hoek α afgebogen en komt terecht in de baan b_2, die om b_1 slingert. Een gelijkstroommagneet *M* buigt het pakket verder af tot buiten de invloedssfeer van de leimagneten van het synchrotron. b_3 geëxtraheerde bundel.

neetkern, moet goed functioneren bij deze frequenties. Het is gebleken dat ferriet — welbekend als magnetisch materiaal voor hoge frequenties — ook zeer geschikt is als materiaal voor de kern van snelle schakelmagneten, zoals wij hieronder zullen zien [2].

Het genereren van een rechthoekige fluximpuls

De ideale wijze om een rechthoekige magneetveldimpuls te genereren is het eerst aangegeven door O'Neill [3]. Men voert de magneet uit als vertragings-

[1] Meer informatie betreffende het protonensynchrotron van CERN (en vier andere protonensynchrotrons) vindt men in dit tijdschrift in het artikel van R. Gouiran, Vijf protonensynchrotrons, Philips techn. T. **30**, 341-378, 1969 (no. 11/12).

[2] Een geheel andere toepassing van ferrieten in synchrotrons is onlangs in dit tijdschrift besproken: F. G. Brockman, H. van der Heide en M. W. Louwerse, Ferroxcube voor protonensynchrotrons, Philips techn. T. **30**, 322-340, 1969 (no. 11/12).

[3] G. K. O'Neill, Proc. Int. Conf. on High-Energy Accelerators and Instrumentation, CERN 1959, blz. 125.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

lijn of transmissielijn, door geschikte condensatoren aan te brengen over de magnetiserende winding; deze bestaat uit één centrale geleider en één retourleiding (*fig. 3*). Een dergelijke vertragingslijn werkt als een laagdoorlatend filter voor elektrische signalen. In het ideale geval heeft hij een vlakke frequentiekarakteristiek, althans ver beneden een zekere afsnijfrequentie. Als de afsnijfrequentie hoog genoeg is, kunnen elektrische signalen zich in de vertragingslijn voortplanten zonder meetbare vervorming. Een dergelijke voortplanting zonder vervorming wordt natuurlijk alleen verkregen als de ingang en de uitgang aangepast zijn aan de karakteristieke impedantie van de vertragingslijn.

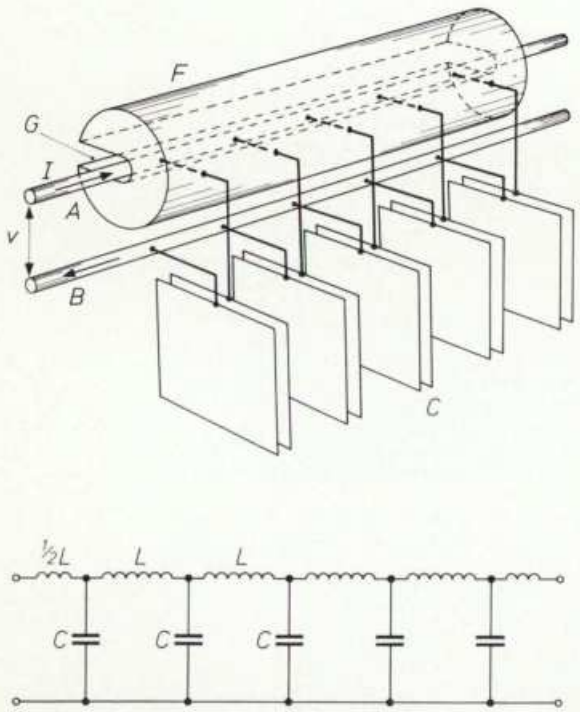


Fig. 3. *Boven:* Een als vertragingslijn uitgevoerde snelle schakelmagneet, schematisch. *F* ferrietkern. *G* spleet. De kern wordt gemagnetiseerd door de stroom *I*, die in de centrale geleider *A* en de retourleiding *B* vloeit. De eigenschappen van de magneet als vertragingslijn worden door de tussen *A* en *B* geschakelde condensatoren *C* aangepast aan de eisen. *Onder:* Elektrisch vervangingsschema van de vertragingslijn.

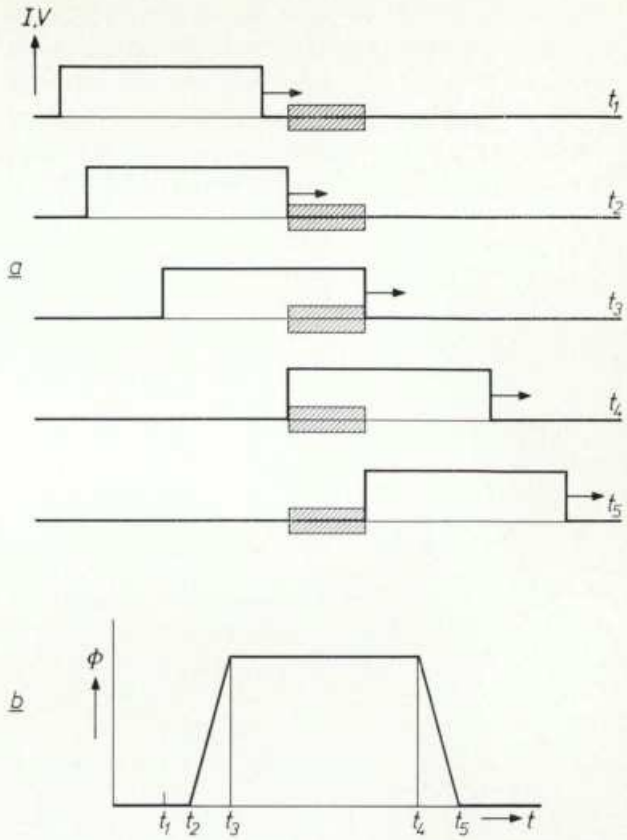


Fig. 4. *a*) Een rechthoekige elektrische impuls die zich voortplant in een lange transmissielijn, waarvan de schakelmagneet (gearceerd) een onderdeel vormt. Overal langs de spleet is het magneetveld evenredig met de stroom. *b*) De totale flux Φ in de magneet als functie van de tijd. t_1, t_2, . . . met (*a*) corresponderende tijdstippen. De fluximpuls is nagenoeg rechthoekig als de looptijd van elektrische signalen in de magneet (t_3-t_2 en t_5-t_4) klein is.

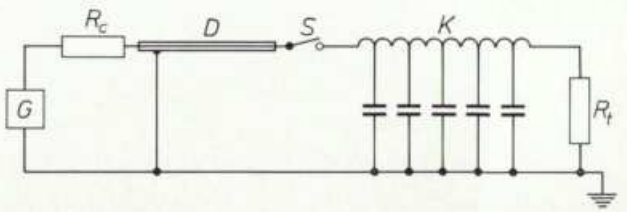


Fig. 5. Schakeling waarmee de fluximpuls wordt gegenereerd. *K* schakelmagneet. *D* coaxiale vertragingslijn. R_t afsluitweerstand. *D* en R_t zijn aan *K* aangepast. Terwijl de schakelaar *S* open is, wordt *D* via een grote weerstand R_c geladen door de hoogspanningsbron *G*. Sluit men *S*, dan ontlaadt *D* zich door *K*, waarbij de vereiste fluximpuls ontstaat.

Wanneer er nu een rechthoekige elektrische impuls door de vertragingslijn-magneet loopt, dan is in de hele spleet een constant magneetveld aanwezig gedurende de periode dat de impuls de vertragingslijn volledig vult (*fig. 4*). Gedurende de passage van de voorkant van de elektrische impuls neemt de flux toe, en de flux neemt weer af als de achterkant passeert. Als de voortplantingssnelheid van de elektrische impuls hoog genoeg is, ontstaat er dus een nagenoeg rechthoekige fluximpuls.

Fig. 5 geeft de volledige schakeling weer die gebruikt wordt voor het genereren van een fluximpuls. De ingang van de vertragingslijn-magneet *K* is aangesloten op een schakeling die een rechthoekige elektrische impuls levert. Deze bestaat uit een vertragingstijn *D* (b.v. een coaxiale kabel) die, terwijl de schakelaar *S* open is, door een hoogspanningsbron *G* via een hoge weerstand R_c tot een spanning V_0 wordt geladen. *K* is afgesloten met een belasting R_t, die, evenals *D*, aangepast is aan de karakteristieke impedantie *Z* van *K*.

Wanneer nu de schakelaar *S* wordt gesloten, vormen *D* en *K* samen een transmissielijn die aan het ene einde open is (omdat $R_c \gg Z$) en die aan het andere

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

einde aangepast is afgesloten (omdat $R_t = Z$). De basisoplossingen voor een homogene transmissielijn zijn golven die zich voorwaarts of achterwaarts voortplanten met een voor de lijn karakteristieke voortplantingssnelheid. Derhalve splitst de stationaire rechthoekige spanning op D zich, als S wordt gesloten, in twee rechthoekige componenten van de halve amplitude, waarvan de ene zich voorwaarts en de andere zich achterwaarts voortplant. De achterwaarts lopende component wordt aan het open uiteinde gereflecteerd en loopt vervolgens voorwaarts, aansluitend op de eerste component (*fig. 6*). Derhalve heeft de elektrische impuls die door K loopt een amplitude $V = \frac{1}{2}V_0$, terwijl de elektrische lengte ervan tweemaal die van D is.

De lengte van de vlakke top van de fluximpuls kan variabel worden gemaakt door middel van een combinatie van schakelaars die een gedeelte van de elektrische impuls naar een andere aangepaste belasting kan leiden. Op deze wijze kan men het aantal af te buigen protonenpakketten variëren.

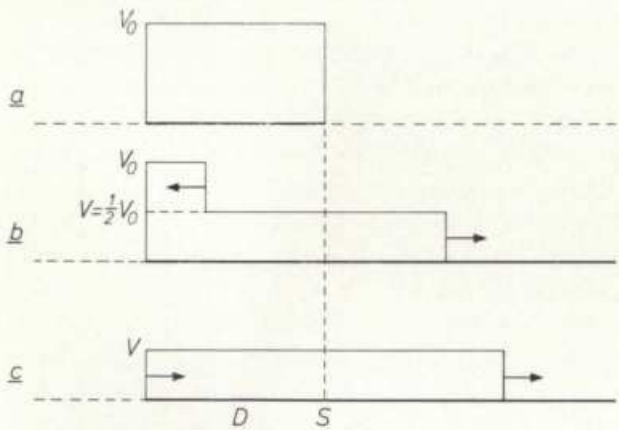


Fig. 6. Ontlading van een geladen vertragingslijn (D in fig. 5). Sluit men de schakelaar (S in fig. 5), dan splitst de rechthoekige spanning die zich op D bevond (*a*) zich in twee rechthoekige impulsen van de halve amplitude, waarvan de ene voorwaarts en de andere achterwaarts loopt; de achterwaarts lopende impuls wordt bij het open uiteinde gereflecteerd en sluit zich aan bij het naar voren lopende stuk (*b*). In (*c*) is de staart van het achterwaarts lopende stuk zojuist gereflecteerd.

Kwantitatieve overwegingen

We beschouwen thans de problemen die zich bij het ontwerpen van een snelle schakelmagneet voordoen, iets meer van de kwantitatieve kant. Met name maken we een schatting van de spanningen en de stromen die nodig zijn om binnen een gegeven tijd in een magneet van gegeven afmetingen een bepaalde „afbuigsterkte" (een nog nader te definiëren begrip) te verkrijgen.

De lengte van de magneetspleet zij l, de breedte w, de hoogte h. De kern vormt een magnetische kortsluiting als de permeabiliteit ervan voldoende hoog is; het gehele veld dat door de stroom wordt geïnduceerd, komt in dat geval over de spleet te staan. Is er, zoals in fig. 3, slechts één winding, dan is dus:

$$I = hH. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Het veld H moet deeltjes met lading e en impuls p over een zekere hoek α afbuigen. Is ϱ de kromtestraal van de baan van de deeltjes in de magneet, dan is $\alpha = l/\varrho$. Combineert men dit met de relatie [4] $p = \varrho eB$ tussen p, ϱ en de veldinductie $B = \mu_0 H$, dan vindt men dat het produkt Bl een zekere waarde moet hebben:

$$Bl = \alpha p/e. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Dit produkt is de hierboven genoemde „afbuigsterkte" (Engels: kick strength) van de magneet [5].

De afmetingen w en h worden bepaald door de dwarsdoorsnede van de bundel of van de vacuümkamer (al naar gelang de magneet zich in de vacuümkamer bevindt, dan wel deze omsluit, zie hieronder). Uitgaande van een gegeven constructie kan men voor het realiseren van een vereiste afbuigsterkte in principe de lengte l verkleinen mits men de inductie B evenredig vergroot, en omgekeerd. Aangezien B direct evenredig is met I (zie verg. 1), en de vereiste stroomsterkte in de praktijk toch al erg hoog uitvalt, kiest men l gewoonlijk zo groot als de beschikbare ruimte toelaat, ten einde de eisen aangaande B (dus I) te verzachten. Om een eenvoudig maar niet onrealistisch voorbeeld te geven: wil men een bundel van 30 GeV afbuigen over 2 mrad in een spleet met afmetingen $l = 1$ m, $h = 2$ cm, $w = 4$ cm, dan is: $pc \approx 30$ GeV, $p/e = 30$ GV/$c = 100$ Vs/m; $\alpha = 2\times10^{-3}$, zodat $Bl = 0{,}2$ Vs/m; $B = 0{,}2$ Vs/m^2; $H = B/\mu_0 = 16\times10^4$ A/m. De vereiste stroom zou in dit geval volgens (1) dus 3200 A zijn.

In deze vereenvoudigde behandeling wordt de totale inductie L_s van de magneet alleen bepaald door de afmetingen van de spleet. Immers $L_s = \Phi/I$, waarin $\Phi = lwB$ de totale flux in de spleet is; met verg. (1) vindt men:

$$L_s = \mu_0 lw/h.$$

De vereiste spanning hangt direct samen met de vereiste stijgsnelheid van het veld, zoals men ziet door het vertragingslijn-aspect van de magneet te beschouwen. Een magneet als die van fig. 3 toont nauwe verwantschap met een coaxiale vertragingslijn. Als men de extra-condensatoren zou weglaten en de buiten-

[4] Een afleiding van deze relatie vindt men op blz. 347 van het aangehaalde artikel [1].

[5] Eigenlijk is de „afbuigsterkte" (kick strength) gedefinieerd als $\int B\mathrm{d}l$, de integraal van de inductie B langs de baan van de deeltjes; deze is gelijk aan het produkt Bl als B homogeen is over de lengte van de magneetspleet en de spreidingsvelden aan de rand nul zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

geleider over de omtrek zou verdelen, dan zou de magneet al zeer veel op een coaxiale kabel lijken. De extra-condensatoren, die nodig zijn om het ontwerp te optimaliseren, leiden echter tot een constructie die beter beschreven kan worden als een laddernetwerk, samengesteld uit n geconcentreerde inductanties L ($L_s = nL$), die elk op de retourleiding zijn aangesloten via een geconcentreerde capacitantie C. Een dergelijke „vertragingslijn met geconcentreerde elementen" wordt gekarakteriseerd door een *afsnijfrequentie* $f_c = 1/\pi\sqrt{LC}$, en verder, althans voor golven waarvan de frequenties van de Fouriercomponenten veel kleiner dan f_c zijn, door een *looptijd* $t_a = n\sqrt{LC}$ en een *karakteristieke impedantie* $Z = \sqrt{L/C}$. Vermenigvuldiging van t_a met Z levert $Zt_a = nL = L_s$. Uit de betrekking $V = ZI$ volgt dan voor de spanning $V = L_sI/t_a$, of:

$$V = \Phi/t_a. \qquad (3)$$

De vereiste spanning op de lijn is dus evenredig met de vereiste flux en met de vereiste stijgsnelheid van de flux. In het hierboven gegeven voorbeeld is de flux $\Phi = 8\times10^{-3}$ Vs. Wil men deze flux binnen 100 ns genereren, dan is de vereiste spanning 80 kV. De impedantie Z van de lijn wordt 80 kV/3200 A = 25 Ω.

Deelt men t_a door Z, dan vindt men de totale capacitantie $C_s = nC$ die men op de magneet moet aansluiten:

$$C_s = t_a/Z = t_a^2/L_s.$$

Hierboven is verondersteld dat een zuiver rechthoekige impuls onvervormd door de vertragingslijn loopt (zie fig. 4). In dat geval zouden stijg- en daaltijd van de magnetische flux gelijk zijn aan de tijd t_a die de voor- en de achterkant van de impuls nodig hebben om zich door de magneet voort te planten. In werkelijkheid zijn stijg- en daaltijd van de flux langer: in de eerste plaats heeft de ingaande impuls zelf een stijg- en daaltijd t_b die niet nul is (de flanken zijn niet recht), en in de tweede plaats worden de flanken van de elektrische impuls vervormd terwijl zij door de magneet lopen; dit effect wordt gekarakteriseerd door een „degeneratietijd" t_c. Door deze spreidingseffecten wordt er een term $\sqrt{t_b^2 + t_c^2}$ aan de stijgtijd van de flux toegevoegd, hetgeen bij benadering leidt tot een totale stijgtijd

$$\tau = t_a + \sqrt{t_b^2 + t_c^2}. \qquad (4)$$

De stijgtijd t_b van de elektrische impuls wordt in de praktijk bepaald door de schakelaar S in fig. 5; wij komen daar nog op terug. Deze stijgtijd kan gemakkelijk even groot worden als t_a.

De degeneratietijd t_c houdt verband met de afsnijfrequentie f_c; hij wordt nul (en f_c oneindig) in het grensgeval van een continue, verliesloze lijn ($n \to \infty$, L en $C \to 0$ zodanig dat Z en t_a constant blijven). Voor een eindig aantal (n) geconcentreerde condensatoren en zelfinducties geldt bij benadering [6]:

$$t_c = (1{,}1/n)^{2/3}\, t_a.$$

Voor $n > 10$ is t_c van weinig betekenis.

Wijde en nauwe magneten; twee voorbeelden

Bij het ontwerpen van een schakelmagneet wordt men voor de keuze gesteld de magneet *in* of *om* de vacuümkamer te bouwen. In het eerste geval moet men rekening houden met de zeer hoge vacuüm-eisen. De nuttige levensduur van een bundel geladen deeltjes wordt bepaald door de druk van het restgas in de vacuümkamer. In protonensynchrotrons moet de levensduur van de orde van seconden zijn; daartoe moet het vacuüm 10^{-5} à 10^{-7} torr zijn. In de opslagringen moet de bundel een levensduur van wel een dag hebben; het vereiste vacuüm is dan 10^{-9} à 10^{-10} torr. Verder is een belangrijk gegeven dat de bundel gedurende de versnelling aanzienlijk in doorsnede krimpt; in het protonensynchrotron van CERN b.v. schat men dat de dikte van de bundel met een factor 10 afneemt [7].

Dientengevolge zijn er twee soorten schakelmagneten:

1) „wijde" magneten, die de dikke, onversnelde bundel kunnen omvatten, en eventueel ook de vacuümkamer;
2) „nauwe" magneten, die alleen de dunne, versnelde bundel kunnen omvatten; deze bevinden zich altijd geheel in het vacuüm.

Als een schakelmagneet voor injectie in een synchrotron moet worden gebruikt, moet hij van de wijde soort zijn. Als de magneet ook de vacuümkamer omvat, moet de wand daarvan in de veldruimte van isolerend materiaal (keramisch materiaal, epoxyhars, glas) gemaakt zijn, aangezien veldimpulsen niet door een geleidend oppervlak kunnen dringen.

Met schakelmagneten die om de vacuümkamer worden gebouwd, moet men speciaal aandacht besteden aan de isolatie tussen de condensatorplaten; een veel gebruikte isolator is olie. Bij schakelmagneten in de vacuümkamer vormt het vacuüm zelf een ideale isolator.

Het grote voordeel van nauwe magneten bestaat hierin dat, bij gegeven magneetlengte, stijgtijd en afbuigsterkte, de vereiste stroomsterkte en spanning relatief gering zijn (zie verg. 1 en 3). Wil men dit type magneet gebruiken voor extractie uit een synchrotron, dan doet zich echter een complicatie voor: Zij mogen

[6] Zie b.v. J. Millman en H. Taub, Pulse and digital circuits, McGraw-Hill, New York 1956, blz. 293-294.
[7] Zie het aangehaalde artikel [1], blz. 377.
[8] E. B. Forsyth en C. Lasky, IEEE Trans. **NS-12**, no. 3, 882, 1965.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geen obstakel vormen voor de onversnelde dikke bundel; zij moeten derhalve zijwaarts verplaatsbaar zijn en kunnen pas in stelling worden gebracht nadat de bundel voldoende is gekrompen. In de praktijk zijn verplaatsingen van 5 à 10 cm vereist, die binnen tijden van de orde van 0,1 s uitgevoerd moeten worden.

In *fig. 7* ziet men een schakelmagneet die in gebruik is in het protonensynchrotron van CERN. Het is een nauwe, verplaatsbare magneet, die voor extractie wordt gebruikt (zone *c* in fig. 1). Bijzonderheden betreffende de bouw en de werking ervan vindt men in het onderschrift van de figuur en in *tabel I*. Om een indruk te krijgen van het verschil in afmetingen tussen de twee soorten magneten, vergelijke men de doorsnede van de veldruimte van deze magneet: 20×22 mm, met die van een wijde magneet die in gebruik is bij het Alternating Gradient Synchrotron in Brookhaven [8]: 50×100 mm.

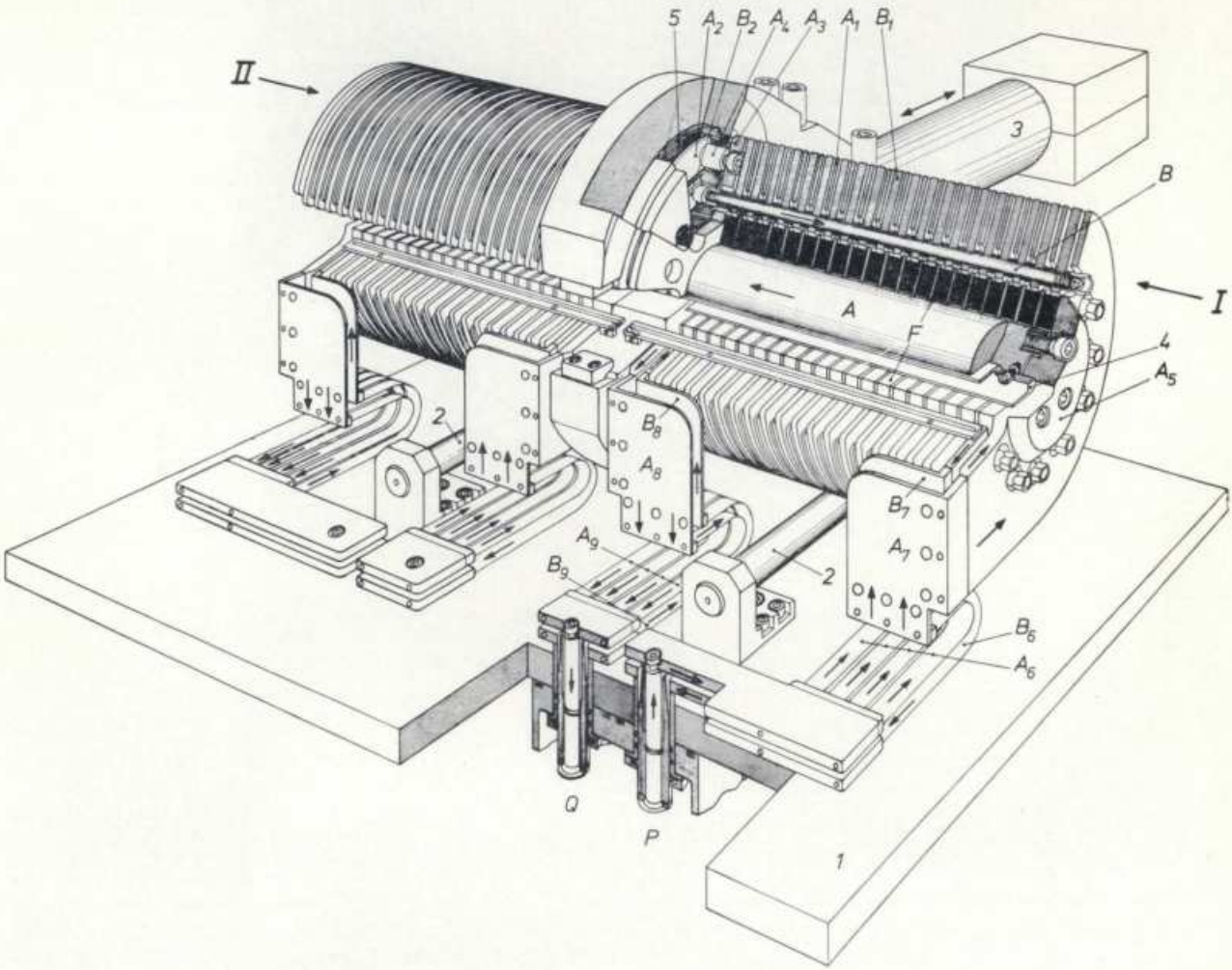


Fig. 7. Perspectivische tekening met weggesneden gedeelten van de extractiemagneet van het protonensynchrotron van CERN. Deze magneet is een snelle schakelmagneet van het „nauwe" type, d.w.z. hij werkt geheel in vacuüm en wordt elke synchrotroncyclus mechanisch in stelling gebracht en weer teruggetrokken. De vacuümkamer is ter plaatse vergroot tot een tank (*1* bodem van de tank). De magneet wordt gedragen door een karretje dat op rails *2* rijdt, en is door de staaf *3* verbonden met een hydraulisch verplaatsingsmechanisme buiten de tank. De twee symmetrische stukken *I* en *II* bestaan elk uit een centrale geleider *A*, waaraan de grote dunne condensatorplaten A_1 zijn bevestigd, en een stel van elf retourleidingen *B*, met de kleinere dikke condensatorplaten B_1. De kern wordt gevormd door de ferrietringen *F*, die worden gedragen door de geleider *A;* deze ringen zijn gescheiden door de condensatorplaten A_1 en worden bij de spleet uitgelijnd gehouden door de stroken *4*. De centrale geleider en de retourleiding, elk met de eraan verbonden condensatorplaten, vormen twee verweven maar mechanisch onafhankelijke en elektrisch geïsoleerde constructies; zij worden beide alleen gedragen door de centrale plaat *5*. Deze plaat is gemaakt van met glasvezels versterkt epoxyhars, en is aan de staaf *3* bevestigd. De centrale geleider *A* is aan een in de plaat *5* gegoten stalen ring A_2 bevestigd d.m.v. de flens A_3 en de bouten A_4. Een tweede stalen ring B_2 in de plaat *5* draagt de retourleidingen *B*. De condensatorplaten en de ferrietringen vormen een stapeling, die door de op *A* bevestigde flens A_5 bij elkaar wordt gehouden. De condensatorplaten zijn van gepolijst aluminium.

De elektrische in- en uitgang van de vertragingslijn *A-B* worden gevormd door de coaxiale doorvoeren *P* en *Q* in de bodem van de vacuümtank. Een stroomimpuls die bij *P* binnenkomt, doorloopt achtereenvolgens de flexibele aansluitingen A_6 en B_6, de eindplaten A_7 en B_7 (die dienen als bevestigingspunten voor A_6 en B_6), de eigenlijke vertragingslijn *A-B*, de platen A_8 en B_8 en de flexibele aansluitingen A_9 en B_9; de impuls verlaat het systeem bij *Q*. Overal wordt een stroom in systeem *A* begeleid door een tegenstroom in *B*. *P* en *Q* zijn verbonden met de impulsgenerator en de afsluitbelasting. Door een commutator buiten de tank kunnen deze aansluitingen worden verwisseld, waardoor de voortplantingsrichting van de elektrische impuls, en daarmede de richting van het magneetveld, wordt omgekeerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

In *fig. 8* en *9* ziet men een van de snelle schakelmagneten die voor injectie in de opslagringen gebruikt zullen worden (de zones *d* en *e* in fig. 1). Doorsneden van deze magneet vindt men in *fig. 10* en numerieke gegevens in tabel I. In iedere zone zullen twee van deze magneten worden gebruikt, die te zamen aan protonen van 28 GeV een maximumafbuiging van 2,5 mrad geven. De in vacuüm werkende magneten zijn nauw

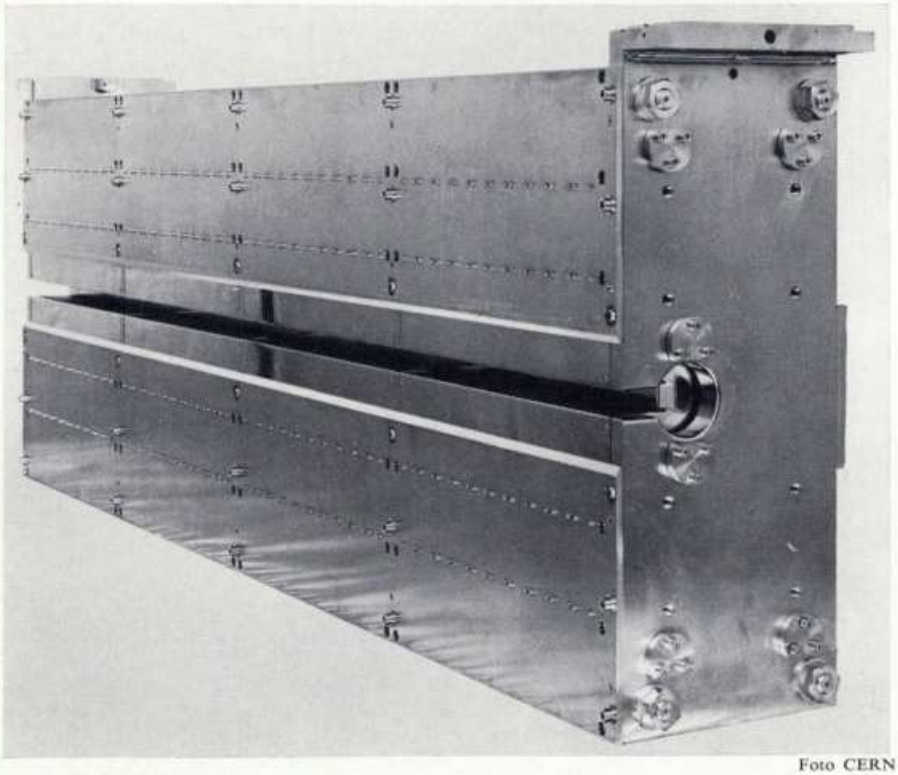


Foto CERN

Fig. 8. Een snelle schakelmagneet voor injectie in de opslagringen. In elk van de zones *d* en *e* van fig. 1 zullen twee van dergelijke magneten worden gebruikt, die te zamen aan protonen van 28 GeV een totale afbuiging van 2,5 mrad geven. Verdere details vindt men in tabel I.

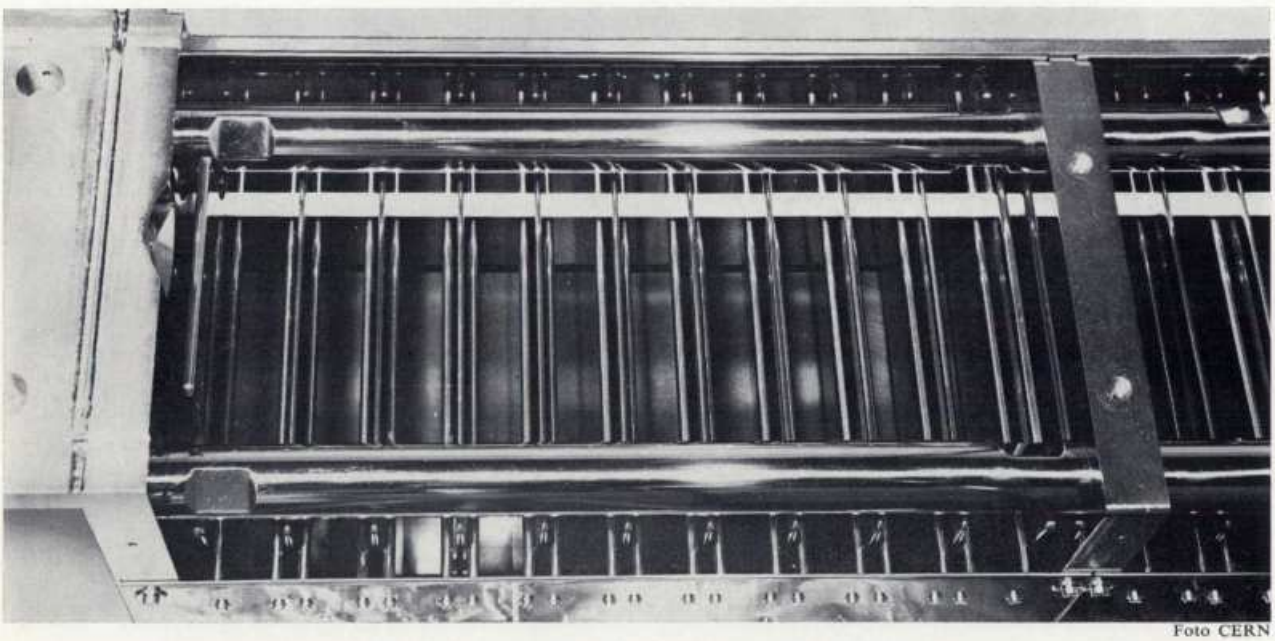


Foto CERN

Fig. 9. De injectiemagneet van fig. 8, van boven gezien. Tussen de condensatorplaten door ziet men de ferrietblokken.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

(20×44,5 mm); het is immers de dunne, versnelde bundel die afgebogen moet worden. Ook deze magneten zijn verplaatsbaar; zij worden na afloop van het opslagproces, waarbij de protonen van vele synchrotron-omlopen tot één verzamelbundel zijn verenigd, teruggetrokken. Dit is nodig omdat men de verzamelbundel nog moet verplaatsen ten einde optimaal gebruik te blijven maken van de vacuümkamer als de bundel gaat uitdijen, o.a. ten gevolge van verstrooiing aan het aanwezige restgas. De magneten vormen één verplaatsbaar geheel met hun vacuümtank, die flexibel met de aangrenzende delen van de vacuümkamer is verbonden. De daaltijd van de fluximpuls (gelijk aan de stijgtijd, zie tabel I) behoeft naar synchrotronmaatstaven niet bijzonder kort te zijn, aangezien de bundel die van één synchrotron-omloop afkomstig is, slechts

Tabel I. Gegevens betreffende de extractiemagneet van het synchrotron van CERN (fig. 7) en de injectiemagneten voor de opslagringen (fig. 8-11). De extractiemagneet bestaat uit twee gedeelten (*I* en *II* in fig. 7); de gegevens in deze tabel betreffen één van deze stukken. Evenzo zullen in elk van de injectiezones van de opslagringen twee magneten worden gebruikt; de gegevens betreffen één enkele magneet.

	synchrotron-extractiemagneet (per gedeelte)	injectiemagneten voor de opslagringen (per magneet)
max. inductie B	0,186 T	0,085 T
effectieve lengte l	0,40 m	1,37 m
maximale afbuigsterkte Bl	0,075 Tm	0,117 Tm
maximale afbuighoek α (voor protonen van 28 GeV)	0,80 mrad	1,25 mrad
duur van de fluximpuls	0,1-2,1 μs	2,4 μs
stijgtijd van de fluximpuls	85 ns	0,31 μs
bruikbare doorsnede van de veldruimte:		
hoogte h	22 mm	19,2 mm
breedte w	20 mm	44,5 mm
inductantie L_s	0,9 μH	4,3 μH
capacitantie C_s	7,7 nF	22,0 nF
karakteristieke impedantie Z	10,8 Ω	14 Ω
maximale spanning op de magneet V	35 kV	19,3 kV
maximale stroom door de magneet I	3,5 kA	1,37 kA
bewegende massa	200 kg	400 kg (magn.) + 2100 kg (tank)
slag	250 mm	−60 tot +60 mm
minimale verplaatsingstijd	0,1 s	ca. 30 s

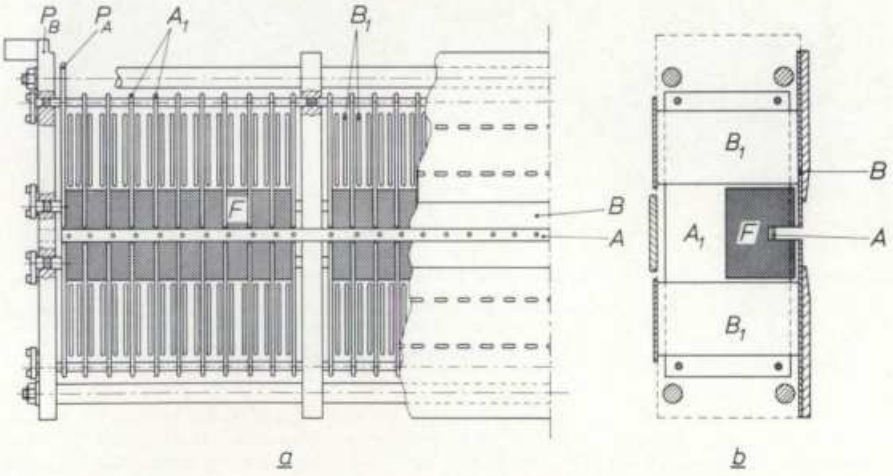


Fig. 10. *a*) Gedeelte van een longitudinale doorsnede van de injectiemagneet van fig. 8. *b*) Een dwarsdoorsnede. *A* centrale geleider. *B* retourleiding. A_1 condensatorplaten die met *A* verbonden zijn. B_1 condensatorplaten verbonden met *B*. *F* ferrietblokken. P_a wordt verbonden met de binnengeleider en P_b met de buitengeleider van de coaxiale ingang van het systeem. De coaxiale uitgang bevindt zich aan de andere kant van de magneet. De magneet bestaat uit vier secties (elk met 10 ferrietblokken), waarvan er één geheel en een tweede grotendeels in (*a*) zijn weergegeven.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

2/3 van de opslagring in beslag neemt. De magneten kunnen dus uitgeschakeld worden in 1/3 van de omloopperiode in de opslagringen. Het belangrijkste probleem bij deze magneten is dat men de reflecties die gedurende de eerste microseconde na het einde van de impuls optreden ten gevolge van onvolkomen aanpassing kleiner dan 1 % moet trachten te houden ten einde storing op de bundel, die na injectie door de spleet van de schakelmagneet blijft circuleren totdat hij wordt opgeslagen, te voorkomen.

Aangezien deze magneten in ultrahoogvacuüm moeten worden gebruikt, worden zij in hun tank tot 300 °C uitgestookt. De condensatorplaten zijn gemaakt van titanium, een materiaal waarvan bekend is dat het weinig gas afgeeft. De gasafgifte van de ferrietkern is eveneens voldoende klein (zie hieronder). Wegens het ultrahoogvacuüm en de hoge spanning moet men bij de constructie van een dergelijke magneet de onderdelen zorgvuldig reinigen en polijsten. In een proefopstelling heeft deze magneet gewerkt met impulsspanningen tot 25 kV, terwijl een vacuüm met een restdruk van 2×10^{-10} torr werd bereikt. In *fig. 11* ziet men een dergelijke magneet in zijn vacuümtank.

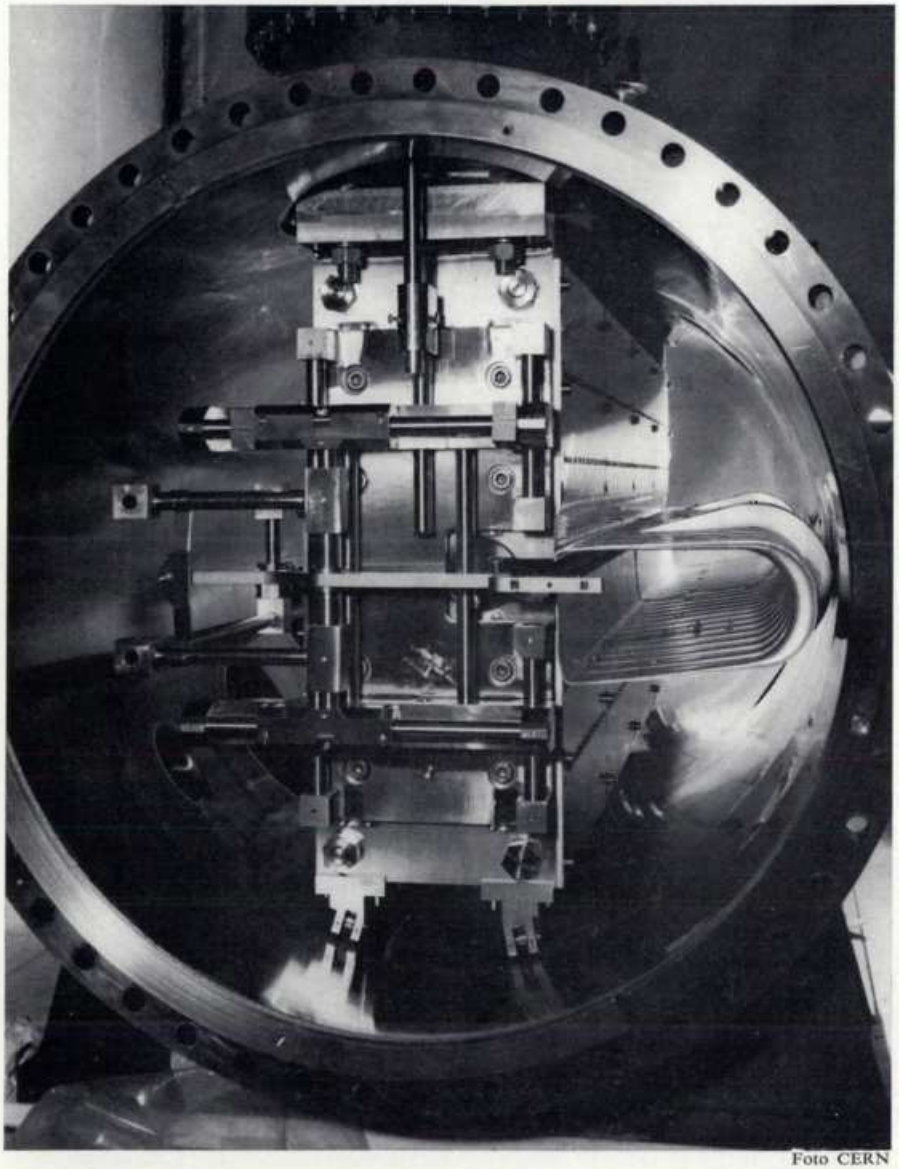


Foto CERN

Fig. 11. Een injectiemagneet als van fig. 8 in zijn vacuümtank. Het stangensysteem aan de voorkant is een gedeelte van de apparatuur waarmee een meetlus nauwkeurig door de spleet kan worden bewogen om het veld af te tasten. Het scherm aan de rechterkant dient om de reeds in de opslagringen opgeslagen bundels van de schakelmagneet te kunnen afschermen. Magneet en tank zullen als één geheel (zonder de meetapparatuur) in de opslagringen worden gemonteerd en als één geheel verplaatsbaar zijn over $\pm$ 6 cm (12 cm totaal).

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Het materiaal voor de kern van snelle schakelmagneten

Zoals in de inleiding reeds werd aangestipt, ligt het tegenwoordig voor de hand aan ferrieten te denken als men een magnetisch materiaal wil toepassen bij hoge frequenties, en wel voornamelijk omdat de wervelstroomverliezen — die maken dat de traditionele magnetische materialen bij hoge frequenties onbruikbaar zijn — bij de zeer slecht geleidende ferrieten geen rol spelen. De wervelstroomverliezen zijn verwaarloosbaar als de theoretische indringdiepte d van de hf. velden groot is vergeleken met de afmetingen van het materiaal. Bij 1 MHz ligt d voor ijzer in het µm-gebied, zodat lamellering van het materiaal — de traditionele remedie — niet langer effectief is. Bij ferrieten komt d bij 1 MHz gemakkelijk in het cm- of m-gebied terecht. Het voordeel dat de ferrieten in dit opzicht bieden weegt veel zwaarder dan de nadelen die op het eerste gezicht lijken te bestaan: De permeabiliteit is gewoonlijk aanzienlijk kleiner (omstreeks 100 à 1000 tegen 3000 in ijzer), terwijl de verzadigingspolarisatie eveneens kleiner is (omstreeks 0,4 tesla tegen 2.0 tesla in ijzer). Terloops zij nog opgemerkt dat de verzadigingspolarisatie in de praktijk geen beperkende factor vormt, aangezien de vereiste fluxdichtheid toch al zo klein mogelijk wordt gekozen (door de lengte zo groot te kiezen als de ruimte toelaat, zie verg. 2), ten einde de eisen aangaande de stroom te verlichten.

In deze speciale toepassing, waarbij zeer hoge spanningen optreden, heeft de hoge weerstand van het ferriet het extra-voordeel dat de hoogspanningscomponenten zonder verdere isolatie in de kern kunnen worden aangebracht.

Van de twee ferrietsoorten die het meest worden gebruikt, ferroxcube 3 (mangaan-zink-ferriet) en ferroxcube 4 (nikkel-zink-ferriet), is ferroxcube 4 te prefereren, aangezien hier weer het voordeel van een hogere weerstand (10^4 Ωm tegen 1 Ωm in ferroxcube 3) zwaarder weegt dan het nadeel van een kleinere permeabiliteit en een kleinere verzadigingspolarisatie. In het gehele frequentiegebied dat voor de fluximpuls vereist is, te weten tot 20 MHz, blijven de verliezen (inclusief de verliezen die niet door wervelstromen ontstaan) in ferroxcube 4 redelijk laag, en de permeabiliteit redelijk hoog [9].

Voor de besproken injectiemagneet (fig. 8-11) werd uit de verschillende soorten ferroxcube 4 de soort 4A gekozen, omdat deze de laagste coërcitie heeft (zie tabel III van het aangehaalde artikel [2]). Daardoor kan men een remanente flux, die de bundel vóór en na bekrachtiging van de magneet zou verstoren, gemakkelijk onderdrukken.

Ten slotte vragen we nog even aandacht voor het feit dat ferriet — ondanks de porositeit ervan — blijkbaar een schoon, in ultrahoogvacuüm bruikbaar materiaal is als men bij het bewerken en het reinigen ervan de nodige zorg in acht neemt. Gedurende de bereiding ervan wordt het gestookt tot temperaturen boven 1000 °C; organische verontreinigingen zijn dus zeker niet meer aanwezig. Reeds uit vergelijkende metingen aan ferriet en roestvrij staal onder dezelfde condities [10] was gebleken dat de gasafgifte van ferriet na zorgvuldig reinigen slechts ongeveer 20 maal zo groot is als die van roestvrij staal (deze is ongeveer 10^{-12} torr l/s cm²); dit is voor gebruik in ultrahoogvacuüm voldoende laag.

De impulsgenerator

Nog enkele opmerkingen over de elektrische impuls en over de schakeling waarmede deze wordt gegenereerd. In de eerste plaats helt de „vlakke" top van de elektrische impuls enigszins ten gevolge van verzwakking in de vertragingslijn (D in fig. 5), en wel doordat de staart van de impuls een langere afstand in de lijn aflegt dan de kop. Door deze helling neemt de afbuigsterkte gedurende de fluximpuls af (zie *fig. 12*);

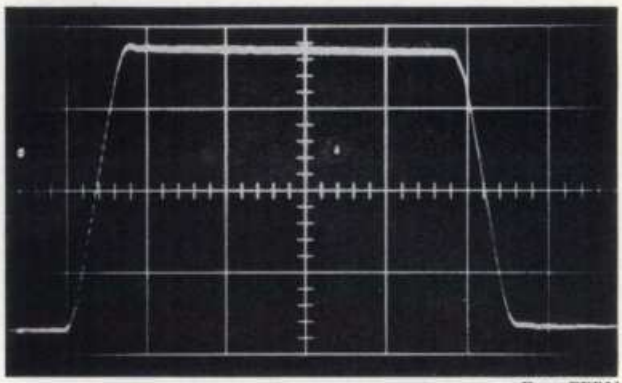


Foto CERN

Fig. 12. Een magnetische fluximpuls, gemeten met de apparatuur die men in fig. 11 ziet. Daarbij werd een enkelvoudige lus gebruikt die 1,6 m lang is en 3,7 mm breed. De flux Φ werd uit de geïnduceerde spanning $d\Phi/dt$ verkregen met behulp van een vóór de oscilloscoop geschakelde integrator met een RC-tijd van 50 µs. De horizontale schaal is 0,5 µs per hoofdschaaldeel. Ongeveer 0,5 % van de helling van 1,5 % van de vlakke top moet worden toegeschreven aan de eindige RC-tijd van de integrator, zodat 1 % van de helling te wijten is aan verzwakking in de vertragingslijn van de impulsgenerator.

deze variatie moet binnen de gestelde tolerantie blijven (± 1% voor de besproken injectiemagneet voor de opslagringen). De verliezen — die in het algemeen zwaarder wegen naarmate de impedantie van de kabel lager is — kunnen inderdaad een probleem vor-

[9] Voor een uitvoeriger bespreking van de relevante eigenschappen van ferroxcube, zie het aangehaalde artikel [2].

[10] J. Sherwood, CERN Report no. AR-SG/64-13. Industrial Report 1964.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

men bij een vertragingslijn die aan een magneet met lage impedantie moet worden aangepast. Men kan aan deze moeilijkheid ontkomen door verscheidene parallel geschakelde kabels van hogere impedantie te gebruiken, maar een dergelijke oplossing is wel gebonden aan economische en praktische grenzen. Bij de schakeling die gebruikt wordt om een injectiemagneet voor de opslagringen te voeden, bestaat de vertragingslijn D uit twee parallel geschakelde coaxiale kabels van 28 Ω met een isolatie van polyethyleen; dit geeft aanpassing op de magneet, die een impedantie van 14 Ω heeft.

In de impulsgenerator vormt de schakelaar (S in fig. 5) een kritiek onderdeel. Deze bepaalt de stijgtijd t_b van de elektrische impuls; is hij niet voldoende snel, dan vormt hij de beperkende factor voor de stijgsnelheid van de fluximpuls (zie verg. 4). Bovendien moet de schakelaar de zeer sterke stromen die hier gebruikelijk zijn (duizenden ampères), kunnen verwerken. In die gevallen waarin stijgtijden van 30 à 50 ns kort genoeg zijn, zijn deuterium-tetrode-thyratrons met succes toegepast. De stijgsnelheid van de stroom is bij dergelijke schakelaars beperkt tot ongeveer 100 kA/μs. Een nog snellere schakelaar is de vonkbrug; daarmee kan men stijgtijden van 5 à 20 ns bereiken. Andere storende effecten (b.v. „jitter") kunnen er de oorzaak van zijn dat de effectieve waarde van τ nog verder wordt vergroot.

Om vervorming van de elektrische impuls tegen te gaan, moeten alle verbindingen tussen de vertragingslijn van de generator, de schakelaar, de magneet en de afsluitbelasting coaxiaal en aangepast zijn. Ten slotte dient bedacht te worden dat het topvermogen in de hf.-componenten van de impuls dikwijls vele megawatts is (meer dan 30 MW bij de injectiemagneet voor de opslagringen); alle onderdelen moeten derhalve goed worden afgeschermd, ten einde storing op meet- en regelapparatuur in de omgeving te voorkomen.

Zoals in de inleiding werd opgemerkt, ontwikkelt de snelle schakelmagneet zich tot een voor de hogeenergiefysica onmisbaar apparaat. Men kan er op bijzonder efficiënte wijze bundels mee injecteren en extraheren; bij bundelextractie heeft men een rendement groter dan 90% gehaald [11]. De extractie is niet alleen van belang voor het overbrengen van een bundel van de ene ring naar de andere (fig. 1), maar ook om, hoe dan ook, met de versnelde bundel experimenten uit te voeren [12]. De alternatieve methode, het aanbrengen van trefplaatjes in de bundel, is minder flexibel en veroorzaakt meer secundaire radioactiviteit.

De auteur wenst zijn dank te betuigen aan dr. B. de Raad en dr. W. C. Middelkoop van de Beam Transfer Group, Intersecting Storage Rings Division, CERN, voor hun vriendelijke hulp bij de voorbereiding van dit artikel en aan dr. B. Kuiper van de Proton Synchrotron Machine Division, CERN, voor zijn toestemming om details van de extractiemagneet van het synchrotron te publiceren.

[11] R. Bertolotto e.a., Proc. 1963 Dubna Int. Accelerator Conf., blz. 669; B. Kuiper en G. Plass, Proc. 1965 Frascati Int. Accelerator Conf., blz. 579.

[12] Zie b.v. K. H. Reich, Beam extraction techniques for synchrotrons, Progress in nuclear techniques and instrumentation **2**, 161-215, 1967.

Samenvatting. Snelle schakelmagneten („kicker magnets") genereren in het ideale geval korte rechthoekige impulsen van magnetische flux. Zij worden gebruikt om elektronen- of protonenbundels af te buigen en in of uit een synchrotron- of opslagring te sturen. Het versnellercomplex van CERN, bestaande uit het protonensynchrotron (in gebruik sinds 1959), een injectiesynchrotron (in aanbouw) en twee opslagringen (bijna gereed), bevat zes afbuigzones waarin snelle schakelmagneten worden of zullen worden gebruikt.

Elektrisch gezien is een snelle schakelmagneet equivalent met een vertragingslijn. Hij wordt bekrachtigd door er een geladen coaxiale kabel door te ontladen. Stromen in het kA-gebied en spanningen in het kV-gebied zijn vereist om binnen tienden van microseconden in een magneetspleet van praktische afmetingen een bruikbare afbuigsterkte te verkrijgen.

Aangezien een deeltjesbundel in een synchrotron dik is bij injectie maar dun na de versnelling, zijn er twee soorten schakelmagneten: „wijde", voor injectie, en „nauwe". Een nauwe magneet moet in vacuüm werken en meestal snel verplaatsbaar zijn. Een extractiemagneet die in gebruik is in het synchrotron van CERN, en een in aanbouw zijnde injectiemagneet voor de opslagringen worden in detail beschreven.

Vanwege de vereiste korte stijgtijd van de impuls is de kern van ferriet gemaakt. Metingen aan de gasafgifte van ferrieten hebben aangetoond dat deze materialen in ultrahoogvacuüm gebruikt kunnen worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een niet-destructieve meting van drukken in gloeilampen

Bij de ontwikkeling van gloeilampen met een inwendige matteringslaag van „Aerosil" poeder [1] heeft men aanvankelijk gekampt met een te korte levensduur der proeflampen. Al spoedig werd vermoed dat gasafgifte door het vrije oppervlak van de matteringslaag (grootte ca. 20 m² per lamp) de moeilijkheid veroorzaakte. Het is bekend dat gloeispiralen van wolfraam met waterdamp reageren. Een geringe hoeveelheid waterdamp transporteert reeds veel wolfraam naar de ballonwand (de zogenaamde watercyclus). Ook kan een sterke gasafgifte in een gloeilamp tot elektrische doorslag leiden.

Metingen hebben het vermoeden bevestigd: bij een gangbare ballonwandtemperatuur als 150 °C ontstond in de gematteerde proeflampen een tien à twaalf maal hogere druk dan in ongematteerde lampen. Met behulp van dergelijke drukmetingen, waarvan we de methode aanstonds beschrijven, kon ook worden vastgesteld welk pompprocédé de gematteerde lampen wèl een voldoende levensduur geeft.

Voor het uitvoeren van de metingen verkeerden we in de welhaast ideale situatie de gloeispiralen van de lampen te kunnen gebruiken als drukdetector volgens Pirani [2]. Aldus hebben we — zonder enige storende ingreep — drukken van ongeveer 0,1 tot 10 pascal [3] in de proeflampen gemeten. *Fig. 1* toont de meetschakeling; één tak van de brug is de gloeispiraal. Door balanceren, met een buisvoltmeter als nulindicator, meet men de weerstand van de gloeispiraal. Uit deze weerstand kan met een ijkgrafiek de druk worden gevonden. De ijkgrafieken hangen af van de ballonwandtemperatuur.

De ijkgrafieken zijn afgeleid uit metingen met een geijkte manometer aan lampen die waren opengemaakt, en die gevuld werden met een instelbare hoeveelheid lucht. Om een bruikbare ijkgrafiek te verkrijgen, moest de spiraal 100 tot 200 °C warmer zijn dan de ballonwand.

De onderneming stond of viel uiteraard met de vraag of een met één lamp gevonden ijkgrafiek ook voor de andere lampen zou gelden. Dit bleek voor

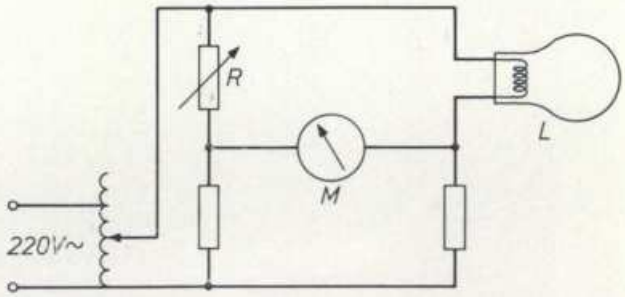


Fig. 1. Niet-destructieve drukmeting in een gloeilamp met behulp van de gloeispiraal (Pirani). Met de brugschakeling meet men de weerstand van de gloeispiraal van de lamp *L*. Deze weerstand is een maat voor de gasdruk in de ballon, immers de gasdruk beïnvloedt de temperatuur van de spiraal en daardoor diens weerstand. *M* wisselspanningsbuisvoltmeter, fungerend als nulindicator voor de brug. *R* balanceerweerstand.

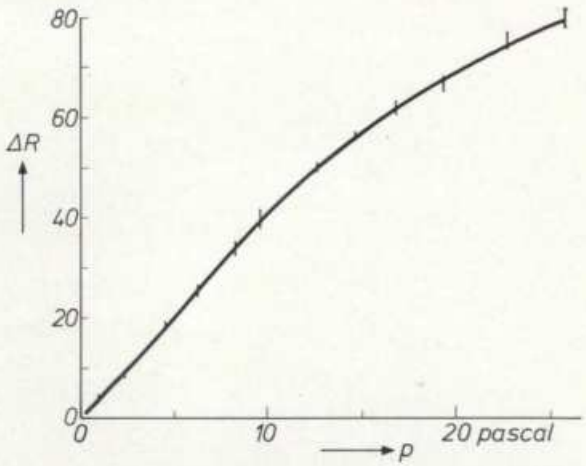


Fig. 2. Het resultaat van ijkmetingen aan zeven ijklampen waarvan de gloeispiralen op gelijke wijze uit één draad gewikkeld waren. Horizontaal de ingestelde druk *p*, verticaal de gevonden daling ΔR van de balanceerweerstand (in willekeurige eenheden). De spreiding in de meetpunten, weergegeven door verticale streepjes, is uiterst gering.

lampen waarvan de gloeispiralen uit één zelfde draad op één doorn en op dezelfde machine gewikkeld waren, in voldoende mate het geval te zijn (*fig. 2*). Meten en ijken gebeurde natuurlijk bij dezelfde ballonwandtemperatuur.

De beschreven manier van meten is ook gebruikt om een lampproduktiegroep te controleren. Een jaar lang hebben we geregeld de direct na het evacueren heersende drukken in de lampen gemeten, hetgeen inzicht in de betrouwbaarheid van het pompproces heeft gegeven.

H. J. H. Beuvens
J. H. Dettingmeyer

[1] „Aerosil" (SiO_2) is een handelsmerk van de firma Degussa te Frankfort a.M. De specifieke oppervlakte van „Aerosil" poeder bedraagt ca. 200 m² per gram.

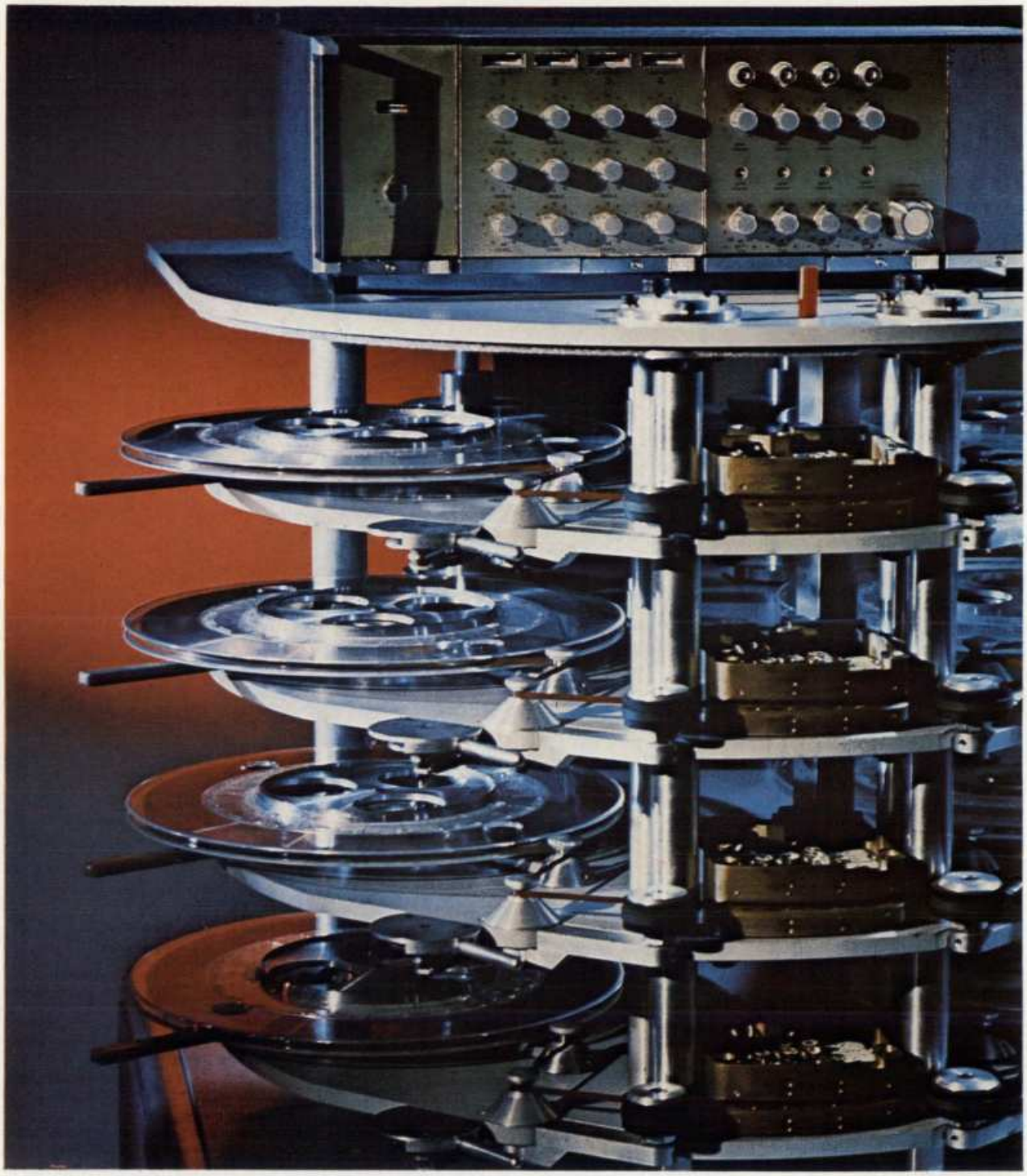
[2] Zie bijvoorbeeld M. Pirani en J. Yarwood, Principles of vacuum engineering, Chapman and Hall, Londen 1961. Een recent artikel waarin ook de werking van een Pirani-manometer wordt uitgelegd, is L. Heijne en A. T. Vink, Een Pirani-manometer voor drukken tot 1000 torr en hoger, Philips techn. T. **30**, 170, 1969.

[3] De S.I.-eenheid van druk, 1 N/m², wordt pascal (Pa) genoemd; 1 torr = 1/760 atm = 133,322 pascal.

H. J. H. Beuvens en J. H. Dettingmeyer, medewerkers van Philips' Hoofdindustriegroep Licht, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023



Deze machine brengt de muziekprogramma's aan op de banden voor de Philips musicassettes. Vier banden worden gelijktijdig beschreven, ieder met vier geluidssporen; dit gebeurt bij een snelheid die het 32-voud is van de nominale bandsnelheid. Cassettes en cassettespelers zijn het onderwerp van nevenstaand artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Geluidsbandcassettes

P. van der Lely en G. Missriegler

„Die Wiedergabe des auf dem Cylinder niedergeschriebenen Gespräches (oder Gesanges) scheint so oft wie man es wünscht unternommen werden zu können und zwar ohne Abschwächung der Schrift, und die Klangfarbe der Stimme tritt gut hervor . . . die wiedergegebene Rede (hat) eine besondere Reinheit und Klarheit ohne lästigen Beilaut. Die späteren Apparate geben nicht nur, was gesprochen und gesungen wird, ausserordentlich correct wieder, sondern auch was in das Mikrophon geflüstert wird; selbst der schwache Laut des Atemzuges kann wiedergegeben werden."
Sedert V. Poulsen in 1900 met deze geestdriftige woorden zijn geluidsregistratie op staaldraad in de Annalen der Physik beschreef (de „Cylinder" diende om de draad op te wikkelen), is er in de techniek der magnetische registratie veel veranderd. Werden in de jaren dertig nog stalen banden, die met een snelheid van 2 m/s moesten worden afgespeeld, als geluidsdragers gebruikt, de ontwikkeling van de ijzeroxidebanden en van de hoogfrequente voormagnetisatie leidde ertoe, dat de magnetische geluidsregistratie zich na de tweede wereldoorlog snel verbreidde, ook onder het grote publiek. Toenemende eisen van gemakkelijke bediening en van goede bescherming van de steeds dunner wordende banden hadden de invoering van bandcassettes tot gevolg; de door Philips ontwikkelde, thans internationaal genormaliseerde Compact Cassette valt hieronder op door haar handige vorm en kleine afmetingen en geniet een grote, nog steeds groeiende populariteit.

Waarom cassettes?

In het laatste decennium is het gebruik van bandopnemers in een mate toegenomen als voordien nauwelijks voor mogelijk werd gehouden. De populariteit van de zelfvervaardigde geluidsopname is wellicht slechts met die te vergelijken welke amateurfotografie en smalfilm in de loop van de tijd hebben bereikt.

De technische verbeteringen die deze ontwikkeling hebben begeleid en in de produkten hun weerslag vinden, gaan in verscheidene richtingen, Zij hebben zowel tot een verhoging van de weergavekwaliteit geleid als — niet in de laatste plaats — tot een vereenvoudiging van de bediening der apparaten en tot een vermindering van volume en gewicht. Deze ontwikkeling bracht ook de entree van de bandopnemer op een speciaal gebied, dat van het dicteerapparaat.

Zowel bij de smalfilm als bij de bandopnemer en het dicteerapparaat is het laden van het apparaat met de dunne film of band voor de leek een betrekkelijk moeilijke handeling, vooral wanneer het onder ongunstige omstandigheden, bijvoorbeeld onderweg, gebeuren moet, wat bij de toenemende draagbaarheid der toestellen dikwijls het geval is. De cassette kan als de oplossing van dit probleem beschouwd worden. Zij ontheft de gebruiker van de noodzaak met de band zelf te manipuleren en biedt deze een effectieve bescherming.

De bescherming van de band is namelijk de tweede belangrijke functie van de cassette. Naarmate de ontwikkeling tot dunnere banden geleid heeft en de verbetering van de magnetische eigenschappen lagere bandsnelheden en smallere geluidssporen mogelijk heeft gemaakt, is de bescherming tegen stof en vingerafdrukken een steeds dringender noodzaak geworden. Men kan wel zeggen dat de toepassing van een cassette een vereiste is om bij niet-professioneel gebruik de mogelijkheden van de tegenwoordige banden volledig te benutten [1].

Welke cassette?

In de voorbije jaren zijn geluidsbandcassettes in talrijke uitvoeringen op de markt verschenen. Zij kunnen in twee groepen worden onderscheiden: de ééngats- en de tweegatscassettes.

De ééngatscassettes bevatten één spoel met band

P. van der Lely, medewerker van Philips' Hoofdindustriegroep Radio Grammofoon Televisie, Hasselt (België); Dipl.-Ing. G. Missriegler, medewerker van Wiener Radiowerke GmbH, Wenen.

[1] Het wekt geen verwondering, dat men op grond van de twee genoemde eigenschappen ook bij beeldregistratie op band tot gebruik van bandcassettes overgaat. Een videocassette en een bijbehorende kleuren-videorecorder voor huiselijk gebruik zijn momenteel in ontwikkeling.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

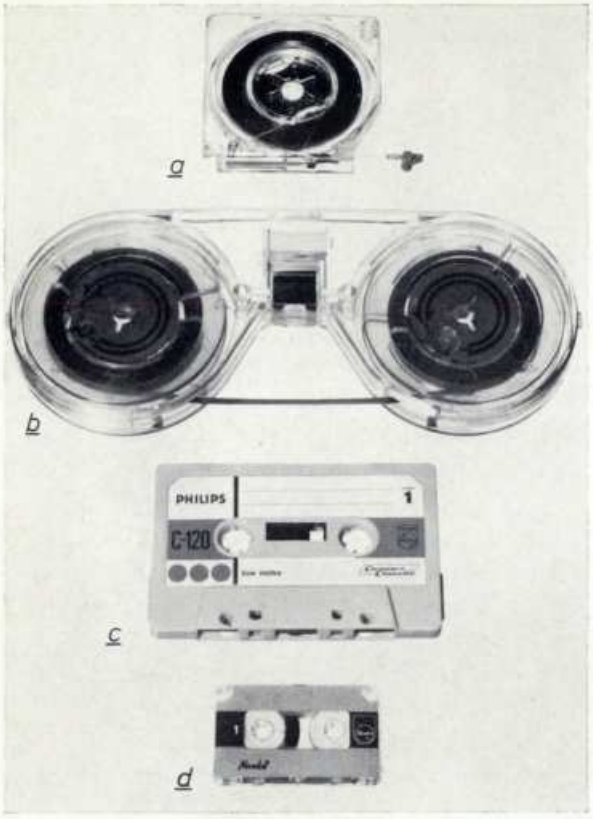


Fig. 1. Verschillende geluidsbandcassettes. *a*) Eéngatscassette. *b*) Tweegatscassette met spoelen. *c*) Compact Cassette. *d*) Cassette van het zakdicteerapparaat Pocket Memo.

(*fig. 1a*); het einde van de band is voorzien van een vangstukje, dat na het inleggen van de cassette door het apparaat wordt gegrepen en naar een tweede, lege ééngatscassette wordt getransporteerd; de lege spoel vangt het daar op en begint met het opwikkelen van de band. De ééngatscassettes worden voor dicteerapparaten gebruikt. Een andere vorm van ééngatscassettes bevat een eindloze bandlus; vanwege de onmogelijkheid van snel voor- en achteruitspoelen, nodig om een opname snel op te kunnen zoeken, is deze vorm alleen geschikt voor bepaalde doeleinden.

De tweegatscassettes bevatten in tegenstelling tot de ééngatscassettes zowel een op- als een afwikkelspoel. In hun eerste vormen waren zij niet meer dan een inkapseling van de twee spoelen van een bandopnemer te zamen met het tussenliggende bandtraject; daardoor waren ze tamelijk omvangrijk (fig. 1*b*). Zij ontwikkelden zich echter in de richting van steeds kleinere afmetingen. In deze ontwikkeling past de Philips Compact Cassette (fig. 1*c*), die thans wijde verbreiding geniet, niet alleen voor het zelf maken van opnamen, maar ook als zg. musicassette met voorbespeelde band [2]. De Philips cassette dankt haar compactheid onder meer aan het gebruik van spoelen zonder flenzen en van een smallere dan de gebruikelijke band (3,81 mm (0,15 inch) in plaats van 6,25 mm (0,25 inch)) — bovenal echter daaraan, dat de kwaliteit van de magnetische banden zich zo ver ontwikkeld heeft, dat haar ontwerp gebaseerd kon worden op een bandsnelheid van slechts 4,76 cm/s ($1\frac{7}{8}$ inch/s). Dat de Compact Cassette thans voor algemeen gebruik het pleit gewonnen schijnt te hebben van de ééngatscassettes, is, behalve aan haar compactheid, toe te schrijven aan het gemak waarmee zij, zonder eerst teruggespoeld te zijn, van het apparaat genomen kan worden, en daaraan dat zij een, uit het oogpunt van de constructeur bezien, minder gecompliceerd apparaat vereist.

Een nog verder gaande miniaturisering dan bij de Compact Cassette was mogelijk bij het ontwerp van een cassette voor een zakdicteerapparaat (fig. 1*d*). Hier werd in verband met de geringere kwaliteitseisen afgezien van een constante bandsnelheid, verkregen door gebruik van een toonas met aandrukrol, en genoegen genomen met een bandtransport rechtstreeks door de opwikkelspoel, waarbij de bandsnelheid toeneemt met de diameter van de wikkel op deze spoel. Dit maakte niet alleen een zeer kleine cassette mogelijk maar ook een uiterst compact loopwerk.

In *fig. 2* is het zakdicteerapparaat — het Philips Pocket Memo — afgebeeld naast de kleinste uit de reeks Philips cassettespelers. Wij stellen ons voor in dit artikel, na een wat algemenere behandeling van het magnetische registratieproces en van het verband tussen bandsnelheid en weergavekwaliteit, op enige technische bijzonderheden van beide apparaten in te gaan.

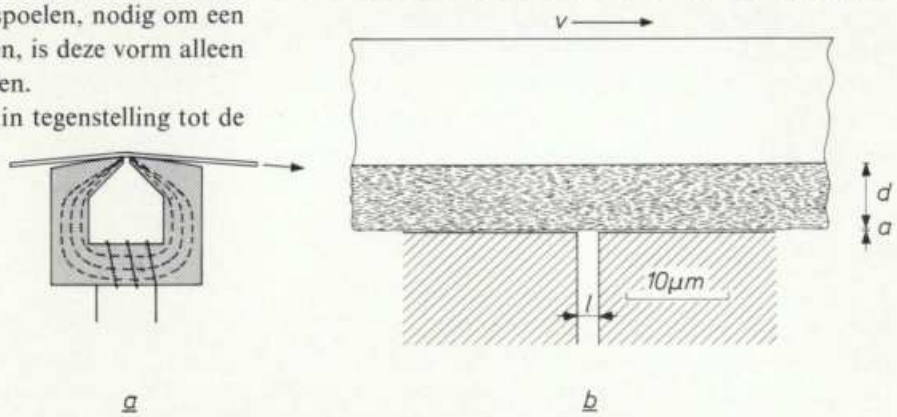


Fig. 3. *a*) De opneem/weergeefkop bezit een weekijzeren juk met een zeer korte luchtspleet. De band raakt de kop ter plaatse van de spleet. De magnetisatie van de band zendt zijn krachtlijnen ten dele door het weekijzeren juk van de kop en dus door de daarop aangebrachte wikkeling. *b*) Ca. 1300-voudige vergroting op schaal van een 18 µm dikke band, die zich met snelheid *v* langs de 2 µm lange spleet van de opneem/weergeefkop beweegt. De band bestaat uit een kunststofdrager, waarop een magnetische laag is aangebracht. *d* dikte van de magnetische laag. *a* gemiddelde afstand tussen band en kop. *l* lengte van de spleet. De maten stemmen overeen met de praktijk van de cassettespelers.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

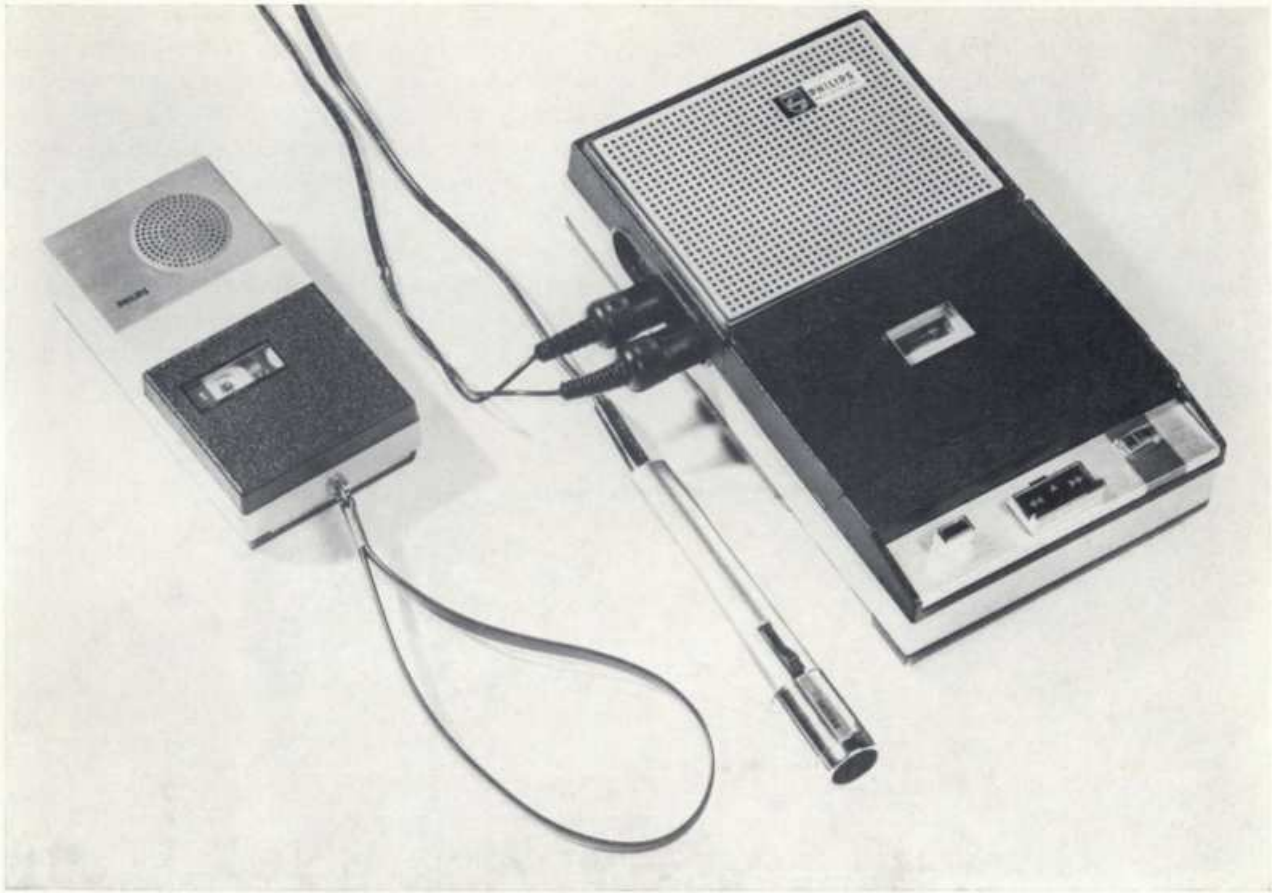


Fig. 2. *Links:* zakdicteerapparaat Pocket Memo; *rechts:* cassettespeler met microfoon.

Opname en weergave bij lage bandsnelheid

Het ontwerp van de Compact Cassette is gebaseerd op een bandsnelheid van 4,76 cm/s. Dit is, in vergelijking met de voor geluidsregistratie veel gebruikte snelheden van 9,53 cm/s en 19,05 cm/s, een lage bandsnelheid, wat betekent dat bij registratie van een hoge frequentie f de golflengte λ van de periodieke magnetisatie op de band klein is — immers, bij een bandsnelheid v is $\lambda = v/f$. Voor het registreren en uitlezen van zulke kleine golflengten worden zowel aan het opneem- en weergeefproces als aan de band zekere eisen gesteld. Aan deze eisen wordt thans in die mate voldaan, dat bij een bandsnelheid van 4,76 cm/s opname en weergave van frequenties tot 10 kHz onder normale gebruiksomstandigheden verzekerd is, wat een bevredigende muziekweergave waarborgt.

De behandeling van het opneem- en weergeefproces die wij in het nu volgende geven, moet in dit artikel noodzakelijkerwijs sterk vereenvoudigd zijn. Het heeft enig voordeel met de weergave te beginnen.

Weergave

De aan het weergeefproces gestelde eisen hebben voornamelijk betrekking op de geometrie van band en kop. In *fig. 3a* is afgebeeld hoe een band langs een opneem- of weergeefkop beweegt, waarvan het weekijzeren juk ter plaatse van de aanraking met de band een spleet heeft. Een ca. dertienhonderd maal vergrote afbeelding op schaal van een kop met een 2 μm lange spleet [3] en een 18 μm dikke, zg. superlangspeelband biedt fig. 3*b*. Deze maten gelden voor de cassettespeler.

Veronderstellen wij, dat de magnetische laag in fig. 3*b* sinusvormig gemagnetiseerd is. De magnetisatie in de omgeving van de spleet zendt zijn krachtlijnen ten dele door het weekijzeren juk van de kop en dus door de daarop aangebrachte wikkeling. Beweegt de band, dan varieert de flux Φ die door de wikkeling omvat

[2] De Compact Cassette is internationaal genormaliseerd: IEC Publication 94, Addition 1. In het Engels wordt met het woord „cassette" in het algemeen deze cassette bedoeld; andere cassettes heten „cartridge". Behalve voor geluidsregistratie begint de Compact Cassette ook toepassing te vinden voor registratie van digitale signalen; zij kan voor de programma-invoer bij kleinere rekenmachines en voor het gebruik bij kasregisters met voordeel de ponsband vervangen. Voor deze toepassingen is een wat gewijzigde constructie nodig en wordt soms gebruik gemaakt van cassettes die geheel gecontroleerd zijn op de afwezigheid van „drop-outs" (kortstondige onderbrekingen van het signaal), die bij digitale registratie storender zijn dan bij geluidsregistratie. Normalisatie van de digitale cassette is in een vergevorderd stadium.

[3] Het is gebruikelijk de afmeting van de spleet in de bewegingsrichting van de band de „lengte" te noemen, hoewel deze veel kleiner is dan de afmeting loodrecht op het vlak van tekening in fig. 3, die de „breedte" genoemd wordt.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

wordt en wordt hierin een spanning E opgewekt, die gelijk is aan $-N\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t$ (N is het aantal windingen). Stellen we de sinusvormig met de tijd t variërende flux voor door $\Phi = \Phi_0 e^{j\omega t}$, met $\omega = 2\pi f$, dan is

$$E = -N\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -Nj\omega\Phi. \quad . \; . \; . \quad (1)$$

We zien dat de amplitude van E evenredig met de frequentie f toeneemt. Het niveau van E neemt dus bij elke verdubbeling van de frequentie met 6 dB toe. Deze toeneming met 6 dB per octaaf wordt door de rechte lijn A in *fig. 4* weergegeven. Van deze rechte lijn gaan wij uit bij de berekening van de frequentiekarakteristiek van het weergeefproces; zij wordt in de praktijk alleen bij lage frequenties benaderd [4]. Bij hoge frequenties worden door een aantal geometrische factoren verliezen geïntroduceerd.

Als eerste noemen wij de spleetverliezen. Het is duidelijk dat de detailstructuur van de bandmagnetisatie tussen begin en einde van de spleet niet door de weergeefkop kan worden waargenomen. Daarom moet de golflengte van de magnetisatie op de band groot zijn ten opzichte van de spleetlengte l. Naarmate de golflengte meer tot de spleetlengte nadert wordt de weergave zwakker; dit wordt geïllustreerd door curve B in fig. 4. Is de golflengte ongeveer gelijk aan de spleetlengte, of daar een geheel aantal malen op begrepen, dan is er zelfs in het geheel geen overdracht. In de praktijk rekent men met een minimale golflengte van $2l$; daarbij is het spleetverlies 5 dB. Bij de huidige cassettespeler is de spleetlengte 2 μm. De grensgolflengte is dus 4 μm en dit komt overeen met een hoogste frequentie van 12 kHz.

Behalve het spleetverlies treedt er bij kleine golflengten een verzwakking op, doordat de band het oppervlak van de kop niet volledig raakt, maar er gemiddeld een afstand a van verwijderd is. Ter berekening van deze verzwakking gaan we uit van de flux die in de kop geïnduceerd wordt door een dunne laag van de band ter dikte $\mathrm{d}y$ en gelegen op een afstand y van de kop; deze is evenredig met $e^{-2\pi y/\lambda}$ [5]. Is de gehele magnetische laag van de band even sterk gemagnetiseerd — een veronderstelling die niet met de werkelijkheid strookt maar die we ons terwille van de eenvoud van het betoog veroorloven — dan is de totale flux Φ door de kop evenredig met de gemiddelde waarde van deze functie over de dikte d van de band, dus met

$$\frac{1}{d}\int_a^{d+a} e^{-2\pi y/\lambda}\,\mathrm{d}y = \frac{\lambda}{2\pi d}\, e^{-2\pi a/\lambda}(1 - e^{-2\pi d/\lambda}). \quad (2)$$

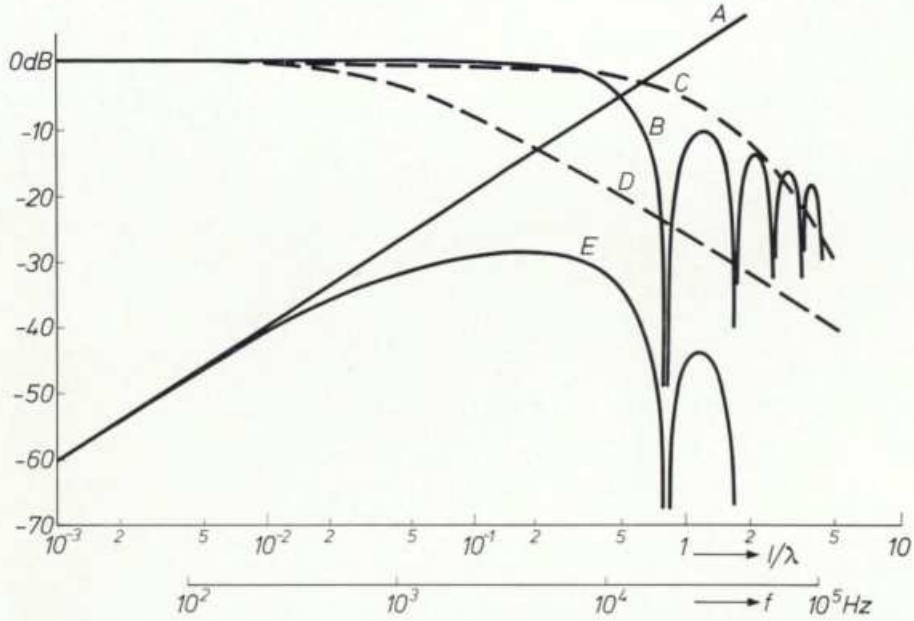


Fig. 4. De frequentiekarakteristiek van het weergeefproces wordt door een aantal effecten bepaald. Bij constante magnetische flux door de weergeefkop neemt de inductiespanning aan de klemmen ervan evenredig met de frequentie f toe (curve A). De flux door de weergeefkop gaat echter naar nul, wanneer de frequentie zo hoog wordt dat de golflengte λ van de magnetisatie op de band ongeveer gelijk wordt aan de lengte l van de spleet of er een geheel aantal malen op begrepen is (curve B). Voorts is er een bij toenemende frequentie toenemend verlies, doordat er een zekere afstand a is tussen kop en band (curve C), en doordat bij toenemende frequentie een afnemend deel van de dikte d van de magnetische laag tot de weergave bijdraagt (curve D). Bij optellen van alle verliezen resulteert de frequentiekarakteristiek E. De curven zijn, onder zekere vereenvoudigende veronderstellingen, berekend voor de bij de cassettespelers voorkomende grootheden: bandsnelheid 4,76 cm/s, $l = 2$ μm, $a = 0{,}2$ μm, $d = 6$ μm.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

De factor $e^{-2\pi a/\lambda}$ geeft de verzwakking ten gevolge van de afstand a; deze verzwakking bedraagt 54,5 dB per golflengte afstand tussen band en kop. In de praktijk is deze afstand 0,1 μm tot 0,3 μm, wat bij een golflengte van 4 μm een verzwakking van 1,4 dB tot 4,1 dB betekent. Dit zg. afstandsverlies, berekend voor een afstand $a = 0{,}2$ μm, wordt in fig. 4 weergegeven door curve *C*.

De factor $(\lambda/2\pi d)(1 - e^{-2\pi d/\lambda})$ brengt tot uitdrukking dat bij kleiner wordende golflengte in toenemende mate alleen de magnetisatie vlak bij het bandoppervlak tot het uitgangssignaal bijdraagt. Men kan van een dikteverlies spreken; de grootte hiervan bij de bandkopconfiguratie van fig. 3*b*, dus bij een laagdikte van 6 μm, blijkt uit curve *D* in fig. 4.

Wanneer we de drie genoemde categorieën van verliezen aftrekken van de theoretische 6 dB/octaaf-karakteristiek *A*, verkrijgen we de in fig. 4 door curve *E* weergegeven frequentiekarakteristiek van het weergeefproces, geldig onder de veronderstelling van een over de gehele dikte homogeen gemagnetiseerde band. Het is duidelijk dat de afsnijfrequentie in eerste instantie bepaald wordt door de spleetverliezen (curve *B*). Een van de problemen bij een massaprodukt als de cassettespeler van nature is, bestaat dan ook in het maken van de zeer korte spleten in de koppen met voldoende nauwkeurigheid en met voldoende zuiver afgewerkte randen; een vergroting van de effectieve spleetlengte met 1 μm zou de bovengenoemde theoretische grensfrequentie van 12 kHz al tot 8 kHz doen dalen.

Er is nog een andere mogelijke oorzaak van verliezen bij hoge frequenties, en ook deze hangt ermee samen dat de cassetteapparaten massaprodukten zijn. Wij hebben bij onze analyse stilzwijgend verondersteld, dat de bandmagnetisatie was geschreven door een opneemkop waarbij de breedteafmeting van de spleet, evenals bij de weergeefkop, loodrecht stond op de bewegingsrichting van de band, dus in fig. 3*b* loodrecht op het vlak van tekening. Men tracht deze loodrechte positie te bereiken door individuele instelling van wat men het azimut van de kop pleegt te noemen. Een hoekverschil α tussen de stand van opneem- en weergeefspleet leidt tot een soort van effectieve verlenging van de spleet en tot extraverliezen bij kleine golflengten; deze verliezen worden, wanneer wij ze weer in dB uitdrukken, gegeven door

$$20 \log \frac{\sin(\pi w \operatorname{tg} \alpha/\lambda)}{\pi w \operatorname{tg} \alpha/\lambda} \text{ dB}, \quad \ldots \quad (3)$$

waarin w de breedte van het geluidsspoor is. De grafische voorstelling van (3) als functie van de frequentie is een soortgelijke curve als curve *B* in fig. 4. Bij monaurale opname op een cassetteband is de spoorbreedte 1,5 mm; een verzwakking van de grensgolflengte van 4 μm met 3 dB treedt hier al op bij een azimutfout $\alpha = 4'$. Het is duidelijk dat een geregelde bijstelling van het azimut van de kop bij cassetteapparaten niet mogelijk is en azimutfouten kunnen dan ook de oorzaak zijn van een belangrijke verslechtering van de frequentiekarakteristiek. Zij spelen in hoofdzaak een rol, wanneer een band op een ander apparaat wordt afgespeeld dan waarop hij is opgenomen.

Opname

Bij opname wordt, om een lineair verband tussen magnetisatie en signaalstroom te verkrijgen, een hoogfrequente wisselstroom samen met de signaalstroom door de opneemkop gestuurd [6]. De amplitude van deze bijstroom is zo groot, dat het magnetische veld ter plaatse van de spleet de coërcitieve veldsterkte van het magnetisch materiaal in de band periodiek overschrijdt; de frequentie ervan is enige malen hoger dan de vast te leggen geluidsfrequenties. Het vastleggen van de remanente magnetisatie in de band gebeurt als de band na het passeren van de spleet door een zone gaat waar de topwaarde van het magnetische veld juist tot de coërcitieve veldsterkte is afgenomen (*fig. 5*). Deze schrijfzone

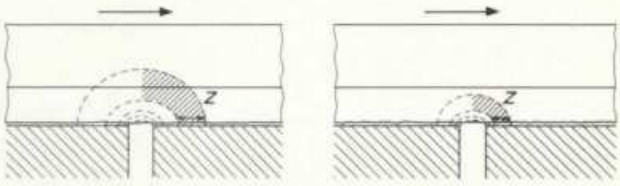


Fig. 5. De magnetisatie van de band komt tot stand in een zone *Z*, waarin de magnetische veldsterkte tot de coërcitieve veldsterkte van de band is afgenomen. De weg door deze zone is bij een grote bijstroom (*links*) langer dan bij een kleine bijstroom (*rechts*).

heeft een zekere uitgestrektheid, onder andere doordat niet alle magnetische deeltjes in de band precies dezelfde coërcitieve veldsterkte bezitten. Het is wenselijk dat de ogenblikswaarde van het signaal weinig verandert gedurende de tijd dat een punt van de band de schrijfzone doorloopt, met andere woorden dat de uitgestrektheid van de schrijfzone klein is ten opzichte van de te registreren golflengte. De schrijfzone wordt breder naarmate de bijstroom groter is (fig. 5). Voor kleine

[4] Tenzij de golflengte op de band groot wordt ten opzichte van de lengte waarover de band tegen de kop aanligt; dit geval doet zich bij de cassettespeler niet voor: bij 50 Hz is de golflengte nog slechts ca. 1 mm.

[5] R. L. Wallace, Jr., The reproduction of magnetically recorded signals, Bell Syst. tech. J. **30**, 1145-1173, 1951.

[6] De hoogfrequente bijstroom schijnt driemaal uitgevonden te zijn; zie W. K. Westmijze, Studies on magnetic recording, dissertatie, Leiden 1953. De lineariserende werking ervan wordt uiteengezet in W. K. Westmijze, Het opneem- en weergeefproces bij de magnetofoon, Philips techn. T. **14**, 269-281, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

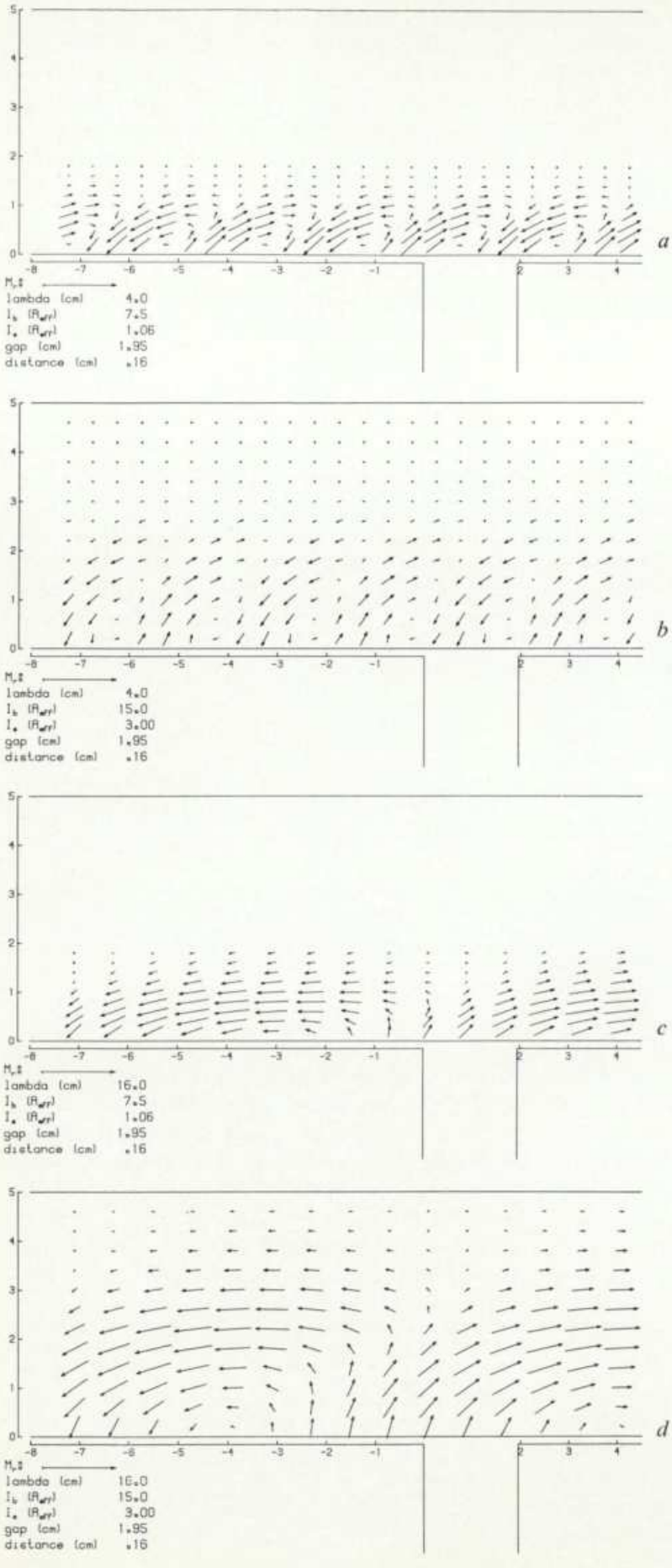


Fig. 6. Aan een 5000× vergroot schaalmodel gemeten magnetisatie in het inwendige van een magnetische band. De grootte van de magnetisatie wordt uitgedrukt door de lengte van de pijlen; ter vergelijking is ook de remanentie M_r van het magnetisch materiaal aangegeven. Onder de lengtedoorsnede van de magnetische laag is de spleet van de kop getekend in de stand die hij innam ten tijde van een nuldoorgang van de signaalstroom. *a*) Kleine golflengte en kleine bijstroom I_b. *b*) Kleine golflengte en grote bijstroom; hoewel de signaalstroom I_s driemaal zo groot is als in *a*) is de remanente magnetisatie kleiner. *c*) Grote golflengte en kleine bijstroom; slechts een deel van de laagdikte is gemagnetiseerd. *d*) Grote golflengte en grote bijstroom; bijna de gehele laag is gemagnetiseerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

golflengten is het dus gunstig een kleinere bijstroom te gebruiken. Daarbij trekt de schrijfzone zich ook rond de spleet samen en beslaat niet meer de volledige dikte van de magnetische laag. Dit is geen nadeel, omdat, zoals we boven hebben gezien, de magnetische laag bij kleine golflengten toch alleen aan de oppervlakte wordt uitgelezen. Bij lage frequenties, dus grote golflengten daarentegen is het wel zinvol de laag over zijn gehele dikte te magnetiseren en is daarom een grotere bijstroom gunstig.

Het effect van de bijstroom op de geregistreerde remanente magnetisatie bij grote en kleine golflengte wordt geïllustreerd door *fig. 6*, verkregen uit metingen aan een vijfduizend maal vergroot schaalmodel van het magnetische registratieproces [7]. Men ziet in het geval van een kleine golflengte uit een vergelijking van fig. 6*b* met fig. 6*a*, dat bij verdubbeling van de bijstroom I_b ondanks circa een verdrievoudiging van de signaalstroom I_s een kleinere remanente magnetisatie wordt verkregen. Blijkbaar is het hier niet alleen de signaalstroom maar ook de bijstroom die bepaalt hoe groot de magnetisatie is die uiteindelijk op de band geschreven wordt. Bij grote golflengten is dit anders; in fig. 6*c*,*d* zien we dat bij een vier maal zo grote golflengte de remanentie bij grote en kleine bijstroom dezelfde is, maar in het geval van de grote bijstroom een groter deel van de laag gemagnetiseerd wordt. Bij deze golflengte leidt dit tot een vergroting van de uitgangsspanning bij weergave.

De sterkteverhouding waarin hoge en lage frequenties op de band geschreven worden is dus mede afhankelijk van de grootte van de bijstroom. Daarmee moet men rekening houden bij het ontwerp van de correcties die nodig zijn om bij weergave de juiste verhouding te herstellen; hierover meer bij de beschrijving van de cassettespeler op blz. 91. In elk geval moet de keuze van de bijstroom in de praktijk een compromis zijn tussen wat voor hoge en wat voor lage frequenties wenselijk is [8]. Het bij de cassettespeler getroffen compromis bevoordeelt de hoge frequenties enigszins; de bijstroom is kleiner dan bij geluidsregistratie veelal gebruikelijk is.

Wanneer de magnetische laag van de band verzadigd is, is de grens van de uitstuurbaarheid van de band bereikt. Het overschrijden van deze grens gaat gepaard met niet-lineaire vervorming. Men streeft er bij het maken van een opname naar, de band zo sterk te magnetiseren dat men in de sterkste passages net tot aan de uitsturingsgrens komt; deze definieert men vaak als de uitsturing waarbij de door niet-lineaire vervorming ontstane derde harmonische van de grondgolf 5% van de amplitude van de grondgolf bereikt. Deze definitie heeft betrekking op lage frequenties. Bij hoge frequenties is het meestal niet mogelijk de band tot in de verzadiging uit te sturen; het vergroten van de signaalstroom heeft namelijk, evenals het vergroten van de bijstroom, een verbreding van de schrijfzone ten gevolge en daarmee een zwakkere optekening van de kleine golflengten die van de grootte-orde van de breedte van de schrijfzone of kleiner zijn. De geschreven magnetisatie blijft bij kleine golflengten daardoor niet lineair met de signaalstroom toenemen, maar bereikt ten slotte een maximum; deze afwijking van het lineaire verband bij hoge frequenties is de oorzaak van niet-lineaire vervorming. De toegelaten vervorming bepaalt ook bij hoge frequenties de uitstuurbaarheid van de band, maar deze hangt hier dus niet samen met magnetische verzadiging. Bij een grotere bijstroom zal de afwijking van het lineaire verband al bij kleinere signaalstromen optreden en is de uitstuurbaarheid van de band dus geringer.

De band

Bij de vervaardiging van geluidsband wordt een suspensie van magnetisch materiaal in een vluchtig oplosmiddel, waarin bovendien een organische binder is opgelost, in een dunne laag op de dragerfolie aangebracht. Na het drogen blijft het magnetisch materiaal — deeltjes ijzeroxide of tegenwoordig ook chroomdioxide — ingebed in de binder op de drager achter. De volgende vier factoren hebben in belangrijke mate bijgedragen tot de verbetering van de kwaliteit van de banden:

1. verbetering van de vorm der deeltjes en daarmee van de magnetische eigenschappen van het materiaal;
2. een homogenere verdeling van de deeltjes in de binder;
3. toepassing van slijtvastere binders;
4. nabewerking van de band om het oppervlak gladder te maken.

Aanvankelijk werden kubische ijzeroxidedeeltjes gebruikt (*fig. 7a*). Een vooruitgang was de toepassing van kleinere naaldvormige deeltjes, ca. 1 μm lang en 0,2 μm breed (fig. 7*b*). De kleinere afmeting is van belang omdat de gemiddelde deeltjesafmeting bij voorkeur kleiner moet zijn dan de helft van de kleinste te registreren golflengte. De vormanisotropie der naalden leidt tot een grotere coërcitieve veldsterkte; bovendien kunnen naaldvormige deeltjes, als de laag nog nat is, met behulp van een extern magneetveld evenwijdig aan de bewe-

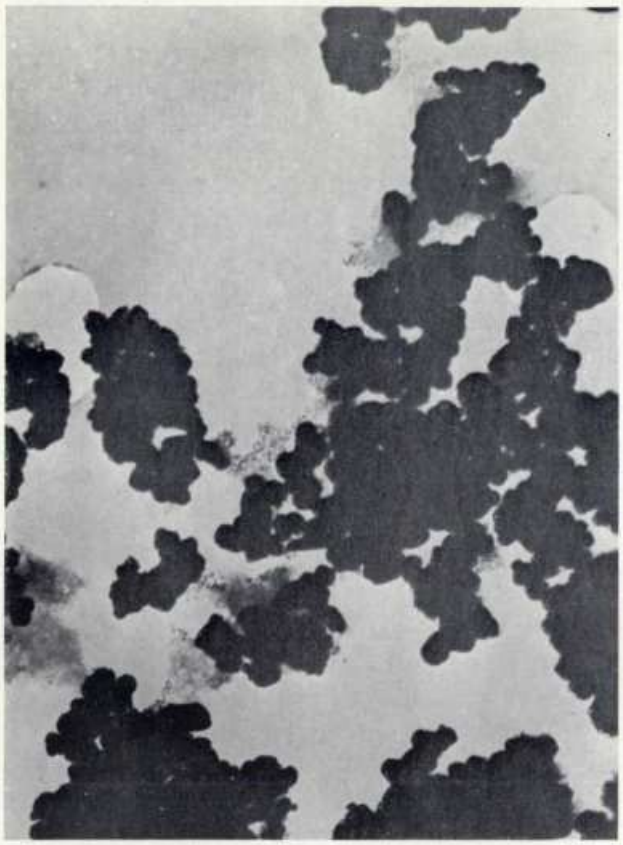
[7] D. L. A. Tjaden en J. Leyten, Een model op schaal 5000 : 1 van het magnetische registratieproces, Philips techn. T. **25**, 365-375, 1963.

[8] Men behoeft zich niet met een compromis tevreden te stellen bij een opnameprocédé dat lage en hoge frequenties na elkaar en ieder onder zijn eigen optimale omstandigheden op hetzelfde geluidsspoor vastlegt: E. de Niet, K. Teer en D. L. A. Tjaden, Magnetic recording of audio signals at low tape speeds, 4th Int. Congress on Acoustics, Kopenhagen 1962, voordracht no. N 11.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023



a

b

gingsrichting van de band gericht worden, waardoor de remanente magnetisatie van de band en daarmee de uitgangsspanning bij weergave vergroot wordt.

Aan de homogene verdeling van de deeltjes in de binder staat in de weg, dat zij, doordat ze magnetisch zijn, de neiging vertonen in de nog natte suspensie samen te klonteren. Soms zijn de ijzeroxidedeeltjes al tijdens de bereiding, die bij hogere temperatuur (ca. 350 °C) plaatsvindt, enigszins aaneengesinterd. Dit leidt tot een hoog ruisniveau en een ruw oppervlak, waardoor de gemiddelde afstand tussen band en kop groot is en bijgevolg de afstandsverliezen groot zijn. Het samenklonteren kan tegengegaan worden door aan de suspensie dispersiestabilisators toe te voegen, organische stoffen die zich aan de ijzeroxidedeeltjes hechten. Tegenwoordig zijn er effectievere dispersiestabilisators dan vroeger en bovendien andere effectieve dispersiemethodes. Daardoor zijn de banden homogener dan vroeger en hebben ze een gladder oppervlak.

Dit laatste leidt tot kleinere afstandsverliezen. Daartoe draagt ook de toepassing van slijtvastere binders bij; de vervuiling van de kop door het afslijten van de magnetische laag is daardoor geringer. Bovendien ondergaan de banden tegenwoordig veelal een nabehandeling die het oppervlak nog gladder moet maken; zij worden daartoe gekalanderd, d.i. onder druk tussen verwarmde walsen doorgevoerd.

De banden met chroomdioxide hebben bijzonder goede eigenschappen. Deze zijn in hoofdzaak daaraan te danken dat de chroomdioxidenaalden meer uniform van grootte zijn dan de ijzeroxidenaalden en dat zij bij de bereiding niet aaneengesinterd worden (fig. 7*c*). Zij worden namelijk, in tegenstelling tot de ijzeroxidenaalden, in een nat chemisch proces bij normale temperatuur bereid. Doordat zij minder samenhangen laten de chroomdioxidenaalden zich ook beter richten en wordt een hogere remanentie verkregen.

Naast de verbeteringen van de magnetische laag zijn ook die van de drager van belang. De oudste banden, voor de grote bandsnelheid van 76,2 cm/s bestemd, werden aan hoge mechanische belastingen blootgesteld en de papieren drager moest daarom een grote dikte hebben; de dikte van deze zg. standaardbanden was 54 μm. Zowel het beschikbaar komen van sterkere dragermaterialen (achtereenvolgens celluloseacetaat, polyvinylchloride en polyester) als het kleiner worden van de bandsnelheden maakte de invoering van dunnere banden mogelijk (zie *tabel I*). De banden met een dikte van 12,5 μm en van 9 μm, de laatste ontwikkelingen op dit gebied, zijn uitsluitend voor het gebruik in cassettes bestemd; in verband met de kleinere bijstroom van de cassetterecorders is de magnetische laag hier dunner. De grotere soepelheid van de dunne banden geeft een beter contact tussen band en kop.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

c

Fig. 7. Elektronenmicrofoto's van de magnetische laag van *a*) een ca. 20 jaar geleden gangbare band met kubische ijzeroxidedeeltjes, *b*) een thans gangbare band met naaldvormige ijzeroxidedeeltjes, *c*) een moderne in de handel verkrijgbare band met chroomdioxidedeeltjes. Vergroting van alle drie foto's 14500×. De opnamen (*b*) en (*c*) zijn gemaakt met behulp van de replicatechniek; in opname (*c*) zijn de witte staafjes chroomdioxidenaalden die aan de replica zijn blijven hangen, terwijl andere chroomdioxidenaalden alleen indrukken in de replica hebben achtergelaten.

Opmerkelijk is de toename van de informatiedichtheid bij de magnetische registratie op band ten gevolge van de ontwikkeling der banden. Hiertoe hebben het dunner worden van de banden, de verbeterde eigenschappen bij kleine golflengten, de vergrote remanentie en de verbeterde ruiseigenschappen samengewerkt; dank zij de laatste twee factoren werden smallere geluidssporen mogelijk. Een haspel met een diameter van 18 cm kan bijvoorbeeld 360 m standaardband bevatten. Oudtijds leverde dit bij registratie over de volle breedte van de band en een toenmaals voor hoge kwaliteit noodzakelijke bandsnelheid van 38,1 cm/s een speelduur van 15 minuten op. Dezelfde geluidskwaliteit is thans bereikbaar met een viersporenregistratie en een bandsnelheid van 9,5 cm/s. De genoemde haspel kan 1080 m super-langspeelband bevatten en heeft daarmee bij deze snelheid een speelduur van 4×180 minuten. Dit betekent een 48-voudig vergroting van de informatie per volume-eenheid.

De beschikbaarheid van een zo lange speelduur op één spoel met band maakt het terugvinden van een programma moeilijk; de spoel met viersporenband is een moeilijk toegankelijke informatiedrager geworden. Ook in dit opzicht brengt de cassette, die zonder voorafgaand terugspoelen van het apparaat genomen kan worden en waarbij de vergrote informatiedichtheid in kleinere afmetingen tot uiting komt, een welkome oplossing.

Tabel I. Stadia in de ontwikkeling van steeds dunnere geluidsbanden.

totale dikte (μm)	dikte magn. laag (μm)	benaming	type-aanduiding cassette
54	15	standaardband	—
35	10-11	langspeelband	—
25	10-11	extra-langspeelband	—
18	6	super-langspeelband	C 60
12,5	3-4	—	C 90
9	3-4	—	C 120

De Compact Cassette

Wij gaan thans wat nader op de bouw van de Compact Cassette in [9]. Er is reeds vermeld dat deze ontworpen is voor een band met een breedte van 3,81 mm en voor een bandsnelheid van 4,76 cm/s. Op de band worden twee geluidssporen geregistreerd, één bij heenloop en één bij terugloop. Afhankelijk van de dikte van de gebruikte band heeft de cassette een speelduur van 2×30 minuten, 2×45 minuten of 2×60 minuten en wordt zij als type C 60, C 90 of C 120 aangeduid (zie tabel I). Bij stereofonische opnamen worden

[9] L. F. Ottens, The Compact Cassette for audio tape recorders, J. Audio Engng. Soc. **15**, 26-28, 1967.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

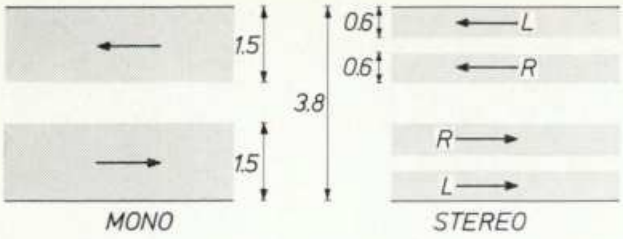


Fig. 8. De ligging van de geluidssporen op een cassetteband. *L* linkerkanaal, *R* rechterkanaal.

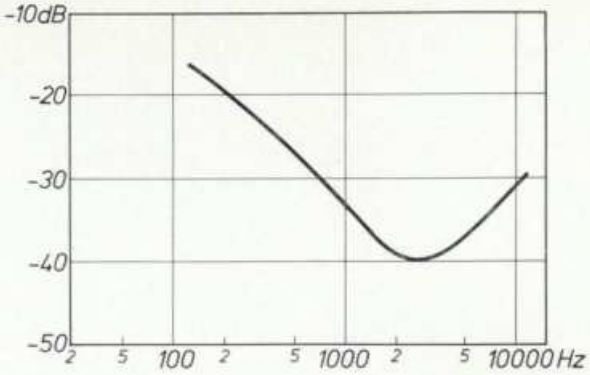


Fig. 9. Overspraakdemping tussen de twee kanalen bij weergave van een stereofonisch programma via een Compact Cassette.

de 1,5 mm brede geluidssporen elk in twee sporen van 0,6 mm met een tussenruimte van 0,3 mm onderverdeeld voor het linker en rechter kanaal (*fig. 8*). Deze indeling der sporen maakt mono- en stereo-opnamen volledig compatibel. Daarbij blijft de overspraak van het ene kanaal op het andere gering; de verzwakking die het signaal bij overspraak ondergaat is in *fig. 9* als functie van de frequentie uitgezet. Deze verzwakking is ruim voldoende om het stereo-effect onaangetast te laten en zelfs groter dan bij de stereo-grammofoonplaat.

In *fig. 10* is het inwendige van een cassette zichtbaar. De band is op naven *1* gewikkeld en daarop vastgezet met een klemstukje *2*, dat een zodanige vorm heeft dat

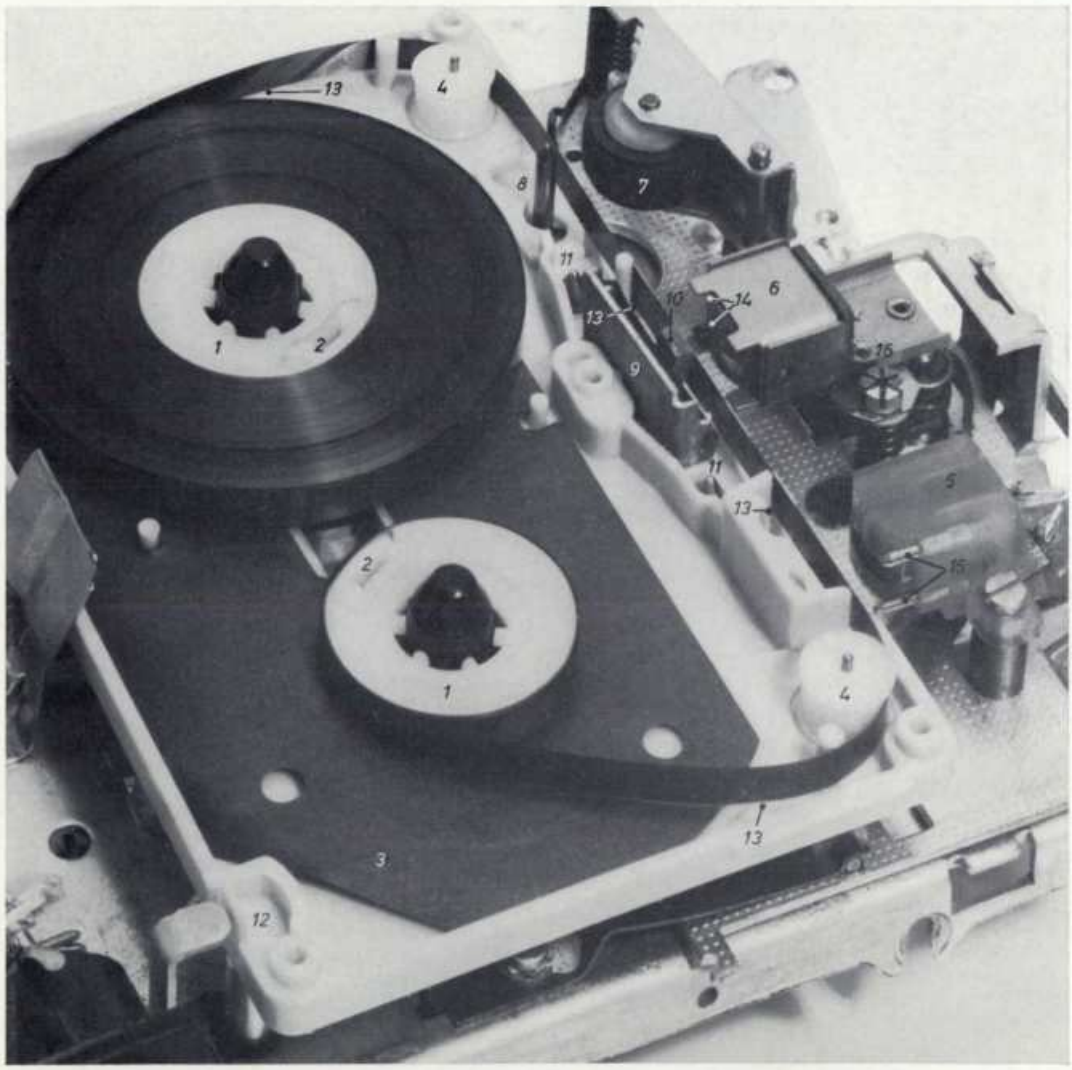


Fig. 10. Geopende cassette in een cassetteapparaat. *1* naven. *2* klemstukje. *3* voering. *4* rollen. *5* wiskop. *6* opneem/weergeefkop. *7* aandrukrol. *8* toonas. *9* mumetalen afscherming. *10* aandrukvilt. *11* referentiegaten en -pennen. *12* uitbreeklip voor blokkering opname. *13* steunpunten bandloop. *14* bandgeleiders. *15* bandgeleiders. *16* instelschroef azimut.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

de ronde vorm van de naaf zo min mogelijk wordt verstoord. De cassette bezit aan de binnenkant een voering *3*, die de band aan weerszijden op zijn plaats houdt. Om het voor snel spoelen vereiste vermogen zo laag mogelijk te houden wordt de band niet over vaste geleideposten maar over rollen *4* geleid. Wanneer de cassette in het toestel is gelegd en het bandtransport wordt ingeschakeld, worden wiskop *5* en opneem/weergeefkop *6* door openingen in de cassette in aanraking met de band gebracht; tegelijk wordt aandrukrol *7* tegen toonas *8* gedrukt. Iedere cassette bevat een mumetalen afscherming *9*, die aansluit op de in de cassettespeler aanwezige afscherming van de kop tegen strooivelden, en een aandrukvilt *10*, dat de band met een kracht van 0,1 N à 0,2 N tegen de kop drukt. Twee referentiegaten *11* corresponderen met in de cassettespeler aanwezige pennen, die de stand van de cassette fixeren; een veer drukt de cassette daarbij in de richting van de kop aan. Wenst men te voorkomen dat een gemaakte opname per ongeluk wordt uitgewist, dan breekt men een der lippen *12* uit; er is voor het heengaande en voor het teruggaande spoor een lip. Een pal in het cassetteapparaat valt dan in het vrijkomende gat en blokkeert de opneemfunctie. De band heeft vaak aan beide einden een dikkere „Mylar" voorloopband, die de aan het einde van het versneld heen- en terugspoelen plotseling optredende krachten opvangt.

De cassette geeft op enige punten *13* een ondersteuning aan de band. Een meer precieze geleiding van de band langs de kop vindt plaats doordat de toonas de band tussen twee nauwkeurig aansluitende geleiders *14* door trekt, die zijn aangebracht op het huis van de opneem/weergeefkop. Op de wiskop bevinden zich twee soortgelijke geleiders *15*. Op het belang van een goede bandgeleiding ter voorkoming van azimutfouten is hierboven reeds gewezen. Het azimut van de opneem/weergeefkop wordt bij iedere cassettespeler individueel ingesteld met instelschroef *16*.

De Philips cassetteapparaten

Loopwerk

Het loopwerk van een cassetteapparaat heeft tot taak de band met een nauwkeurig constant blijvende snelheid langs de opneem/weergeefkop te transporteren. Fluctuaties in deze snelheid, bijvoorbeeld door onrondheid van draaiende delen, leiden tot toonhoogtefluctuaties in de weergegeven muziek, die als zeer hinderlijk ervaren worden en door ons als „jengel" zullen worden aangeduid. Behalve de eis van constante bandloop stellen we aan het loopwerk voor de batterijapparaten ook de eis van een gering stroomverbruik. Daarnaast verlangen we dan nog dat het loopwerk in een klein volume van voorgeschreven vorm ondergebracht kan worden.

De band wordt getransporteerd door de toonas, waar hij door een rubberrol tegenaan wordt gedrukt. Voor een gelijkmatige bandloop is allereerst noodzakelijk dat de motor die de toonas aandrijft een constant toerental heeft, dat niet afneemt wanneer de batterijspanning daalt of wanneer de mechanische belasting toeneemt. Dit laatste gebeurt tijdens het afspelen, doordat de straal van de zich afwikkelende bandrol kleiner wordt en het erop uitgeoefende remkoppel constant blijft; de op de band uitgeoefende trekkracht wordt daardoor groter. De Philips cassetteapparaten bevatten voor het constant houden van het toerental van de motor een elektronische regelschakeling (*fig. 11*); deze houdt bij variërende belasting de bandsnelheid binnen 0,5% constant. De regelschakeling blijft werkzaam zolang de batterijspanning, die nominaal 7,5 V bedraagt, niet onder 5 V is gedaald.

In de regelschakeling vormt de motor *M* een der takken van een brugschakeling waarvan de diagonaalspanning op de emissor-basisovergang van transistor *Tr 1* staat. Door *Tr 1* wordt een

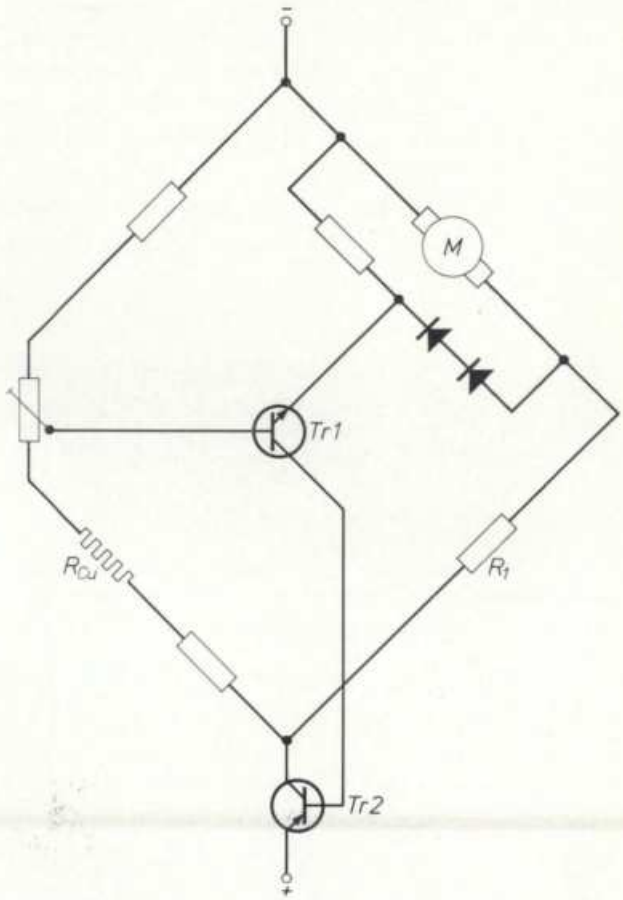


Fig. 11. Elektronische regelschakeling die bij dalende batterijspanning en variërende belasting het toerental van motor *M* constant houdt. Bij dalend toerental neemt de in de motor opgewekte inductiespanning af; dit brengt de brugschakeling uit evenwicht, wat door transistor *Tr 1* wordt waargenomen. Deze stuurt transistor *Tr 2* in zodanige zin, dat de stroom door de brugschakeling en daarmee het toerental van de motor toeneemt. De van koperdraad gewonden weerstand R_{Cu} compenseert door zijn temperatuurafhankelijkheid de som van een aantal temperatuureffecten in motor en halfgeleiders.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

tweede transistor *Tr 2* gestuurd, die de stroom door de gehele brug bepaalt. Wanneer het toerental van de motor verandert, verandert de in de motorwikkeling geïnduceerde tegenspanning in evenredigheid met het toerental en dit beïnvloedt het brugevenwicht in zodanige zin, dat de toerentalvariatie wordt tegengewerkt. Dit gaat gepaard met een verandering van de stroom door de motor en dus met een verandering van de spanningsval over de weerstand van de motor. De weerstand R_1 is zo bemeten dat de spanningsval daarover die over de weerstand van de motor in evenwicht houdt. De van koperdraad gewonden weerstand R_{Cu} heeft de juiste temperatuuraf hankelijkheid om diverse temperatuureffecten in motor en halfgeleiders te compenseren.

Een toerentalregeling van de motor voorkomt langzame bandsnelheidsvariaties, maar is niet geschikt om de cassettespeler voor de snellere variaties te vrijwaren, die wij doorgaans bedoelen als we over jengel spreken.

Om deze snellere variaties te onderdrukken is bij bandapparaten op de toonas een vliegwiel aangebracht. Aan dit vliegwiel kan in het cassetteloopwerk, gezien de beperkte plaatsruimte, slechts een bescheiden diameter gegeven worden (zie *fig. 12*); dit wordt goedgemaakt door een snellopende en dus dunne toonas te gebruiken. Nadelen hiervan zijn de verhoogde eisen aan de bewerkingsnauwkeurigheid van de toonas en de doorbuiging onder de zijdelingse druk van de aandrukrol; gaat de toonas scheef staan, dan betekent dit een veranderde bandloop en daarmee onder meer een azimutfout. Bij de Philipsapparaten ligt het compromis op een toonasdiameter van 2 mm en een toerental van ca. 7,5 omw/s.

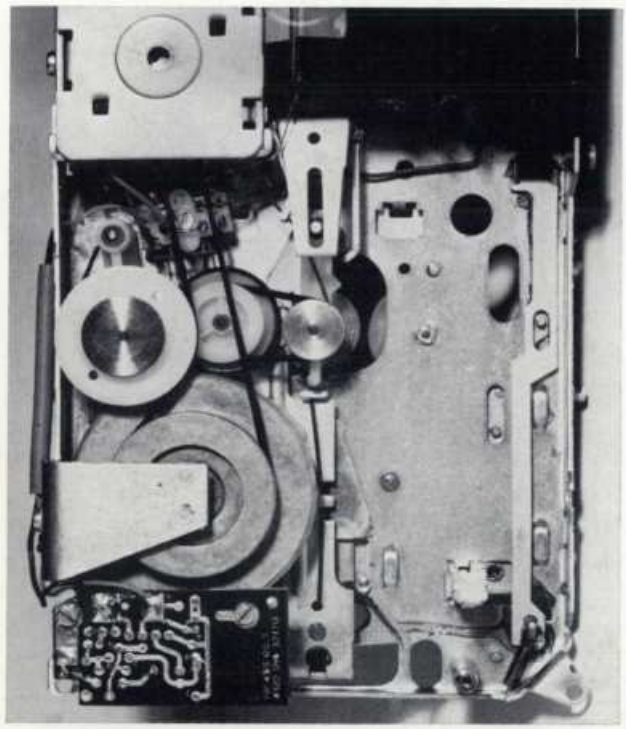


Fig. 12. Onderzijde van het cassetteloopwerk.

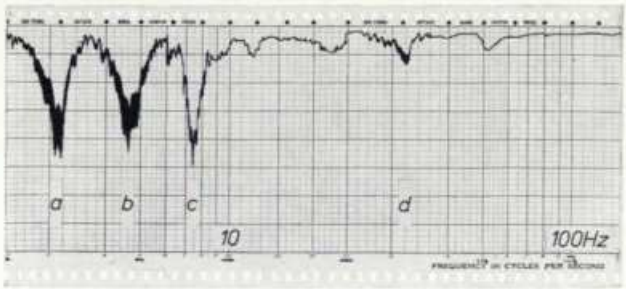


Fig. 13. Frequentieanalyse van de jengel bij een cassettespeler. De amplitude is op de meetstrook van boven naar beneden geschreven. Er zijn vier frequentiecomponenten waarneembaar, afkomstig van de snaar (*a*), de slipkoppeling (*b*), de toonas (*c*) en de motor (*d*).

Voor de aandrijving van toonas met vliegwiel is een snaaroverbrenging gekozen. Deze heeft boven een stelsel van tussenwielen het voordeel van een betere demping van de snelle rimpel die ten gevolge van kleefstanden op de omloopsnelheid van de motor aanwezig is; bovendien geeft een snaaroverbrenging grotere vrijheid bij de ruimtelijke indeling van een loopwerk. Hiervoor zijn de nadelen van mogelijke jengel ten gevolge van diktevariaties van de snaar en van slip bij een gerekte snaar op de koop toe genomen. Er worden nageslepen snaren gebruikt met diktevariaties van ten hoogste 2%. Dezelfde snaar drijft zowel het vliegwiel aan als de opwikkelspoel, de laatste via een slippende koppeling. Deze is nodig omdat bij het vol raken van de opwikkelspoel de omwentelingssnelheid ervan steeds kleiner wordt.

Bij het meten van de grootte van de jengel, die bestaat uit een modulatie in frequentie van de op de band opgenomen tonen, worden deze tonen gedemoduleerd. Het modulerende signaal kan daarna in de samenstellende frequenties ontleed worden. Een dergelijke frequentieanalyse van de jengel van een cassettespeler toont *fig. 13*. De vier belangrijkste frequentiecomponenten hierin liggen bij de omloopsnelheid van de snaar (ca. 3 Hz), de slipkoppeling (4,6 Hz), de toonas (7,5 Hz) en de motor (32 Hz).

Men drukt de grootte van de jengel uit in de procentuele frequentievariaties van een toon. Nu is de hinderlijkheid van de jengel afhankelijk van de snelheid der variaties; variaties met een frequentie van omstreeks 4 Hz zijn het hinderlijkst. Alle frequentiecomponenten in de jengel zijn dus niet even hinderlijk. Het is gebruikelijk ze volgens een bepaald voorschrift te „wegen"; veel toegepast wordt de in het Duitse normblad DIN 45507 neergelegde waarderingscurve (*fig. 14*). Aan de eenvoudige Philips cassettespelers wordt de eis gesteld, dat de volgens deze curve gewogen jengel niet groter is dan 0,4%; aan duurdere apparaten worden hogere eisen gesteld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

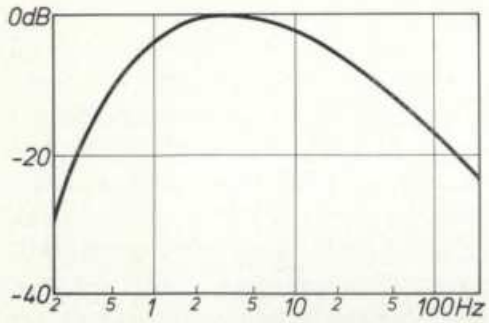


Fig. 14. Gewichtscurve naar DIN 45507, volgens welke de verschillende frequentiecomponenten van de jengel in een geluidsregistratie gewogen moeten worden, wanneer men de jengel in één, met de hinderlijkheid overeenkomend getal wil uitdrukken.

Stroomverbruik van het loopwerk

In de Philips cassettespeler is een stroom van 75 mA nodig voor het bandtransport bij afspelen. Wanneer de batterijspanning tot 5 V is gedaald is de verdeling van het toegevoerde elektrische vermogen over de onderdelen van het mechanisme als in *fig. 15* weergegeven. Meestal is de batterijspanning hoger; het aandeel van de regeling is dan aanmerkelijk groter, omdat het teveel aan toegevoerd vermogen daarin wordt gedissipeerd. De wrijving in de motor- en vliegwiellagers wordt sterk vergroot door de dwarskrachten, uitgeoefend door de aandrijfsnaar en de aandrukrol; de lagerwrijving van het vliegwiel is zelfs bijna geheel een gevolg van deze dwarskrachten.

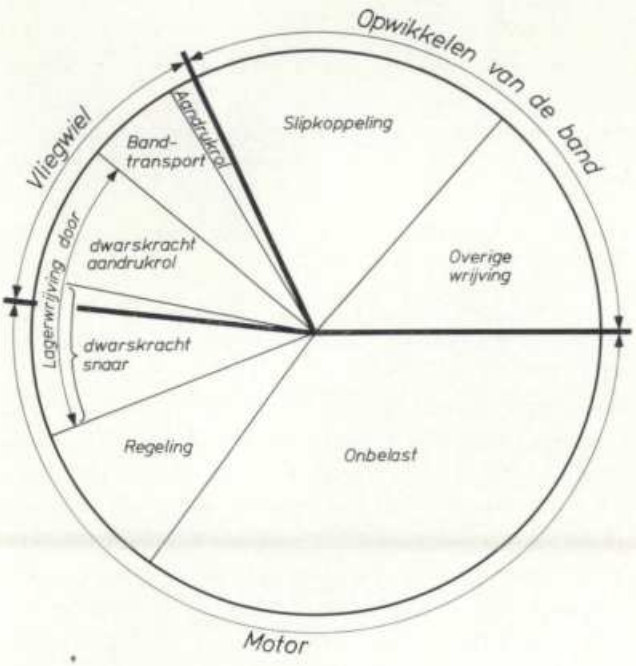


Fig. 15. De bij het afspelen van een bandcassette op een Philips cassettespeler optredende verdeling van het aan het loopwerk toegevoerde elektrisch vermogen over de onderdelen van het mechanisme. De door de dwarskrachten, afkomstig van snaar en aandrukrol, toegevoegde lagerwrijving is afzonderlijk opgevoerd. De hier getoonde verdeling geldt, wanneer de batterijspanning tot 5 V is afgenomen. Bij een hogere batterijspanning is het aandeel van de regeling aanmerkelijk groter.

Elektroakoestische eigenschappen

De elektroakoestische eigenschappen van een bandspeler, zoals frequentiekarakteristiek en signaal-ruisverhouding, worden, behalve door de eigenschappen van de band en de band-kopgeometrie (zie fig. 4), ook bepaald door de bewerking die de voor opname en weergave aangeboden signalen in de elektronische schakelingen van het apparaat ondergaan. De frequentiekarakteristiek die uit opneem- en weergeefproces resulteert is zonder meer niet bruikbaar en moet in deze schakelingen worden gecorrigeerd. We kunnen het doel van de correcties nog wat uitgebreider formuleren: er moet, ten einde een zo groot mogelijke signaal-ruisverhouding te verkrijgen, bij alle frequenties een maximaal gebruik gemaakt worden van de uitstuurbaarheid van de band, en de uiteindelijke frequentiekarakteristiek bij weergave moet binnen een zo groot mogelijk gebied vlak zijn.

De uitstuurbaarheid van de band is niet voor alle banden gelijk en varieert bij hogere frequenties ook met de bijstroom (zie blz. 85). Om te voorkomen dat iedere fabrikant zijn eigen correcties zou invoeren, waarmee de uitwisselbaarheid van banden in gevaar zou worden gebracht, is een internationale norm vastgelegd voor het verloop van de magnetisatie op de band met de frequentie, bij een constant signaal aan de ingang van de opneemversterker [10]. Hierin wordt de magnetisatie gedefinieerd door de grootte van de „oppervlakte-inductie", dit is de loodrecht op het bandoppervlak uittredende inductie bij aanliggen aan een ideale leeskop. Voor de verschillende standaardbandsnelheden is er een verschillend frequentieverloop van de oppervlakte-inductie vastgelegd; dat voor de bandsnelheid van 4,76 cm/s wordt weergegeven door curve *M* in *fig. 16*. In de praktijk maakt men bij het corrigeren van de weergeefversterker gebruik van een referentieband, die

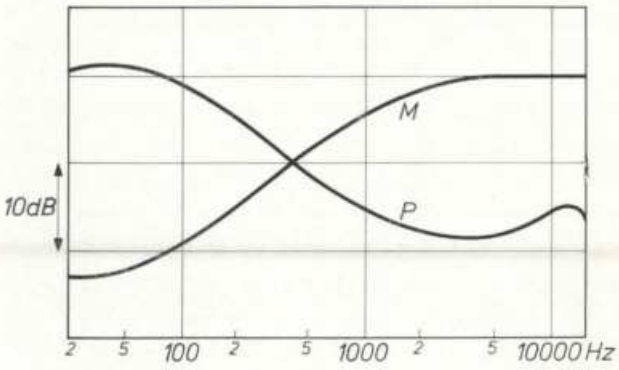


Fig. 16. *M* internationaal genormaliseerd verloop [10] van de bandmagnetisatie met de frequentie bij constante spanning aan de ingang van de opneemversterker; de curve geldt voor een bandsnelheid van 4,76 cm/s. *P* frequentiekarakteristiek van de weergeefversterker in de Philips cassettespeler.

[10] IEC Publication 94.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

geacht wordt volgens deze norm gemagnetiseerd te zijn; de versterker krijgt een zodanige weergeefkarakteristiek, dat bij het afspelen van de referentieband aan de uitgang een zo veel mogelijk frequentieonafhankelijke signaalamplitude ontstaat. De weergeefkarakteristiek van de Philips cassettespelers wordt voorgesteld door curve *P* in fig. 16.

Wanneer de oppervlakte-inductie bij verschillende frequenties even groot is, is ook — wanneer wij even afzien van de in fig. 4 aangeduide verliezen — de inductiespanning aan de klemmen van de weergeefkop bij die verschillende frequenties even groot. Dit verklaart dat de weergeefkarakteristiek *P* in fig. 16 in hoofdzaak het spiegelbeeld is van de magnetisatiecurve *M*. De standaardcurve *M* legt dus in grote lijnen de weergeefkarakteristiek van een cassettespeler vast; *P* loopt echter bij hoge frequenties op om de bij weergave optredende spleetverliezen (fig. 4 curve *B*) goed te maken en deze hogetonencorrectie kan bij verschillende uitvoeringen van de cassettespeler verschillend zijn.

Welke frequentiekarakteristiek moet nu aan de opneemversterker worden gegeven om te bereiken dat bij weergave over de aldus gecorrigeerde weergeefversterker uiteindelijk een vlakke frequentiekarakteristiek wordt verkregen? Het antwoord op deze vraag hangt samen met de keuze van de grootte van de bijstroom. Wij hebben op blz. 85 uiteengezet dat de sterkteverhouding waarin lage en hoge frequenties worden opgetekend afhankelijk is van de grootte van de bijstroom en dat ook de uitstuurbaarheid van de band voor hoge frequenties daarvan afhangt. Bij een grotere bijstroom worden de hoge frequenties zwakker opgetekend en neemt tegelijkertijd de uitstuurbaarheid van de band voor hoge frequenties af. Anderzijds hebben wij gezien dat voor een goede registratie van de lage frequenties juist een betrekkelijk grote bijstroom gewenst is. Wanneer wij aan deze laatste wenselijkheid tegemoet willen komen zullen wij de verzwakking der hoge frequenties moeten compenseren door bij opname de hoge frequenties voldoende op te halen. Dat dit kan zonder de uitsturingsgrens van de band te overschrijden, is te danken aan het feit dat de energie-inhoud der hier bedoelde hogere frequenties (boven 2 kHz) in een gemiddeld muzieksignaal kleiner is dan die der lagere frequenties. Het streven is echter niet alleen op een optimale frequentiekarakteristiek gericht, maar ook op een optimale banduitsturing. Deze trachten wij te bereiken door de bijstroom een zodanige grootte te geven, dat, na de bijbehorende hogetonencompensatie in de opneemversterker, lage en hoge frequenties in een gemiddeld muzieksignaal de uitsturingsgrens van de band ongeveer even dicht naderen. Overschrijdt een signaal de toegestane amplitude, dan zullen lage en hoge frequenties in dit geval gelijktijdig „vastlopen". Is de bijstroom groter dan deze optimale waarde dan is een grotere hogetonencompensatie nodig; deze komt echter in conflict met de verminderde uitstuurbaarheid van de band en de hoge tonen lopen het eerst vast. Bij een te kleine bijstroom lopen de lage tonen het eerst vast.

De term „gemiddeld muzieksignaal" die in het bovenstaande voorkomt maakt het begrijpelijk dat in de keuze van bijstroom en hogetonencompensatie de praktijkervaring meespreekt. Bij de Philips cassettespeler heeft de opneemversterker de frequentiekarakteristiek gekregen die wordt weergegeven door curve *R* in *fig. 17*. Deze haalt, behalve de hoge tonen, ook de lage tonen onder 200 Hz op. Dat is in overeenstemming met het verloop van curve *M* in dit gebied; de bedoeling hiervan is de verhouding van het signaal tot mogelijke bromstoring in apparaten met netvoeding te verbeteren. De uit alle correcties resulterende frequentiekarakteristiek via opname en weergave wordt voorgesteld door curve *T* in fig. 17. Hierbij behoort bij de thans gangbare apparaten en banden een signaal-ruisverhouding van ca. 45 dB.

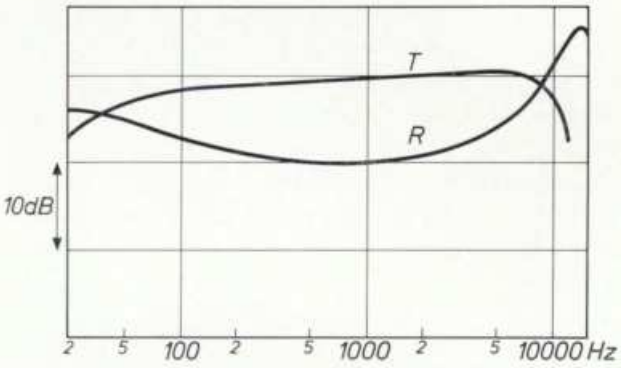


Fig. 17. *R* frequentiekarakteristiek van de opneemversterker van de Philips cassettespeler. *T* totale frequentiekarakteristiek, via opname en weergave gemeten (microfoon en luidspreker niet inbegrepen).

Musicassettes

Alle musicassettes worden met stereoprogramma's voorbespeeld. Ten einde de produktie te versnellen geschiedt het overspelen van de muziekprogramma's van de „moederband" op de cassettebanden niet met de nominale bandsnelheid maar bij de nieuwste produktiemachines met een 32 maal zo hoge snelheid. Dit betekent dat de moederband, die bij een snelheid van 19,05 cm/s gemoduleerd is, met een snelheid van iets meer dan 6 m/s wordt afgespeeld! De snelheid van de cassettebanden, waarvan er vier tegelijk met het signaal van de moederband worden gemoduleerd, is daarbij ruim 1,5 m/s. Alle vier sporen worden gelijktijdig beschreven, één paar dus achterstevoren.

Alle frequenties worden bij het kopiëren met een factor 32 vermenigvuldigd; de versterkers bestrijken een frequentiegebied van 200 Hz tot 500 kHz en de afspeel- en opneemkarakteristieken zijn overeenkomstig

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

getransformeerd. De hoogfrequentbijstroom heeft een frequentie van 2,4 MHz. Om wervelstroomverliezen en snelle slijtage te voorkomen wordt gebruik gemaakt van ferrietkoppen; de spleetlengte der schrijfkoppen is 4 μm.

Een groot aantal programma's wordt achter elkaar overgespeeld op één 1500 m lange cassetteband, met signaaltonen ertussen, die een rol spelen bij de gemechaniseerde afmontage van de cassettes. Het valt buiten het bestek van dit artikel verder op deze afmontage in te gaan [11]. Bij de opname wordt grote zorg besteed aan de afwezigheid van jengel; deze is, gewogen volgens de curve van fig. 14, kleiner dan ± 0,06%. Ook het loodrecht instellen van de opneemspleet geschiedt met grote nauwkeurigheid; de hoekfouten zijn kleiner dan 2'. Dit is van groot belang, omdat azimutfouten in de weergeefapparaten de weergavekwaliteit bij het afspelen van musicassettes sterk kunnen beïnvloeden; er is alles aan gelegen, aan de opnamekant zo weinig mogelijk tot de uiteindelijke azimutafwijkingen bij te dragen.

Pocket Memo

De ontwikkeling van het Philips Pocket Memo (fig. 2) werd ingegeven door de wens, een uiterst klein, in de zak draagbaar dicteerapparaat, een „geluidsbandnotitieboekje", op de markt te brengen. De kleine afmetingen waren wel de voornaamste eis die aan het ontwerp gesteld werd; daarbij werd een speelduur van 2×10 minuten (of 2×15 minuten met 9 μm-band) verlangd met de mogelijkheid van terugspoelen. Ook hier was een cassette het aangewezen middel om de geluidsband hanteerbaar te maken. Vermeld is boven reeds, dat bij het Pocket Memo is afgezien van bandtransport door middel van een toonas en in plaats daarvan gekozen is voor het mechanisch veel eenvoudiger bandtransport rechtstreeks door de opwikkelspoel. Behalve ruimtebesparing en mechanische vereenvoudiging levert dit het voordeel op van een geringer stroomverbruik. De bij bandtransport door een toonas noodzakelijke slipkoppeling in de aandrijving van de opwikkelspoel ontbreekt hier namelijk, en in deze slipkoppeling gaat gewoonlijk een niet onaanzienlijk vermogen verloren (zie in fig. 15 de verdeling van het opgenomen vermogen bij het cassetteloopwerk).

Loopwerk

De eenvoud van het loopwerk van het Pocket Memo blijkt duidelijk uit *fig. 18*. Op de as van de motor *1* zit een dubbel rondsel *1a, b*. In de stand „opname/weergave" is de motoras naar boven gekanteld en drukt

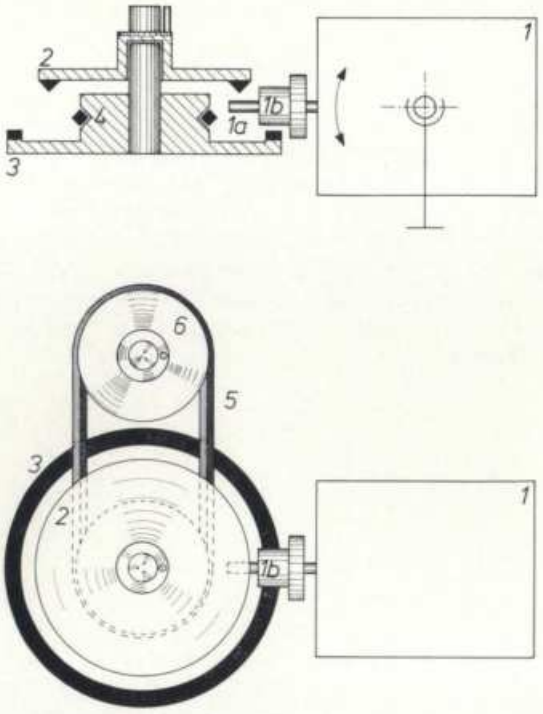


Fig. 18. Loopwerk Pocket Memo. *1* motor. *1a, b* rondsels op motoras. *2* schotel opwikkelspoel. *3* aandrijfwiel afwikkelspoel met *4* snaarwiel. *5* snaar. *6* schotel afwikkelspoel.

rondsel *1a*, dat een diameter van 1 mm heeft, tegen een rubberrand, aangebracht op de opwikkelspoelschotel *2*. In de stand „terugspoelen" is de motoras naar beneden gekanteld en loopt rondsel *1b* op de rubberrand van wiel *3*. Op één as met wiel *3* is een snaarschijf *4* aangebracht, die via een snaar *5* de afwikkelspoelschotel *6* in zodanige zin aandrijft dat de band teruggespoeld wordt.

De toerentallen der draaiende onderdelen zijn zo gekozen, dat zij zo ver mogelijk verwijderd zijn van de waarde 4 omw/s (*fig. 19*). Voor jengel met een frequentie van 4 Hz is het menselijk oor immers het gevoeligst (blz. 90). Een frequentieanalyse van

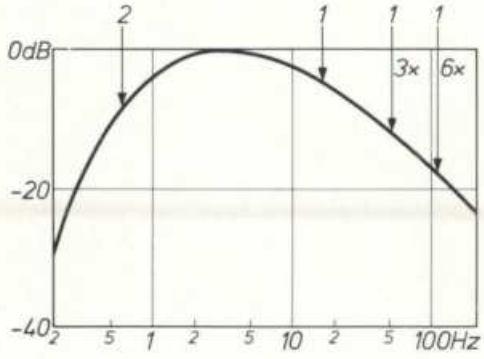


Fig. 19. De toerentallen van motor *1* en opwikkelspoel *2* (zie fig. 18) zijn zo gekozen dat ze zo ver mogelijk verwijderd zijn van de frequentie 4 Hz, die bij jengel het hinderlijkst is. Aangegeven is waar zij liggen ten opzichte van de gewichtscurve van fig. 14. Onbalans van de rotorwikkelingen, kleefmomenten en commutatie kunnen leiden tot fluctuaties met frequenties van 3 en 6 maal het motortoerental.

[11] Hiervoor zij verwezen naar J. L. Ooms, Multiple speed tape duplicating, J. Audio Engng. Soc. **14**, 343-355, 1966.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

de jengel is afgebeeld in *fig. 20*; daarin herkent men de motorfrequentie f_m en een aantal veelvouden daarvan.

In het Pocket Memo is dezelfde elektronische motorregeling aangebracht als in de cassettespeler. Aan de regelschakeling (zie fig. 11) wordt in het Pocket Memo een signaal ontleend dat dient als indicatie van de batterijspanning. Op de collectorgelijkspanning van *Tr 2* is ten gevolge van de commutatie van de gelijkstroommotor een wisselspanning gesuperponeerd, die via een batterijcontroleschakelaar aan de weergeefversterker kan worden toegevoerd. Wanneer de batterijspanning te ver daalt, valt de spanning over *Tr 2* weg en vormt deze nagenoeg een kortsluiting naar aarde; de wisselspanning kan dan niet meer hoorbaar worden gemaakt.

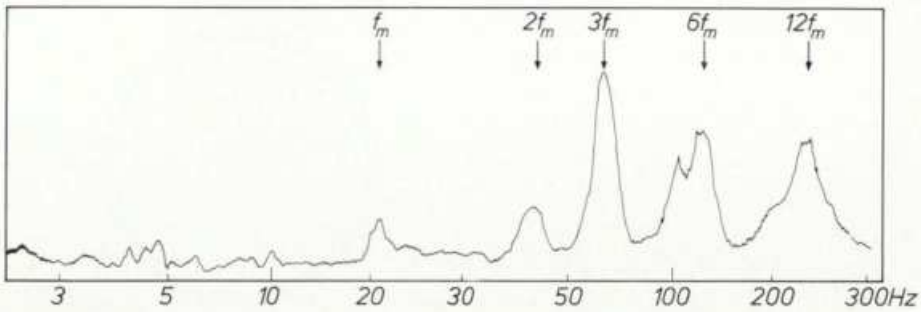


Fig. 20. Frequentieanalyse van de jengel in het loopwerk van een Pocket Memo. In de hier afgebeelde frequentieband van 2,5 Hz tot 300 Hz is de jengel geheel van de motor afkomstig. Deze maakt f_m omwentelingen per seconde; de component met frequentie 3 f_m is te verklaren uit magnetische onbalans van de rotorwikkelingen, die met frequentie 6 f_m is afkomstig van de kleefstanden en de commutatie, die met frequentie 12 f_m van de commutatie.

Banduitsturing, frequentiekarakteristiek

Bij het Pocket Memo is een elektrodynamische microfoon ingebouwd, die bij weergave tevens als luidspreker dient. Voor een goede signaal-ruisverhouding is het gewenst dat de band, onafhankelijk van de afstand van waaraf de microfoon besproken wordt, tot een behoorlijk niveau wordt uitgestuurd. Bij de meeste bandspelers en ook bij de cassettespelers wordt het opnameniveau met de hand geregeld; bij het Pocket Memo zou dit echter een onaanvaardbare complicatie in de bediening zijn. Vandaar dat het Pocket Memo een vast ingesteld, vrij hoog uitsturingsniveau heeft; begrenzing van het signaal wordt verkregen door de natuurlijke uitsturingsbegrenzing van de band. Er is zorg voor gedragen dat de opneemversterker bij volle uitsturing van de band zelf nog ver binnen de grenzen van zijn uitstuurbaarheid blijft, zodat de band inderdaad het enige begrenzende element is. De wijze waarop de band het signaal begrenst gaat met minder hinderlijke niet-lineaire vervorming gepaard dan het oversturen van een versterker en de spraakverstaanbaarheid wordt er minder door aangetast.

Uit een oogpunt van spraakverstaanbaarheid moeten wij ook de in *fig. 21* afgebeelde frequentiekarakteristiek van het Pocket Memo beoordelen, zoals deze bij belasting met een weerstand aan de uitgangsklemmen wordt gemeten. De frequentiekarakteristiek omvat dus niet de microfoon/luidspreker; zij bevoordeelt de voor spraakverstaanbaarheid belangrijkste frequenties.

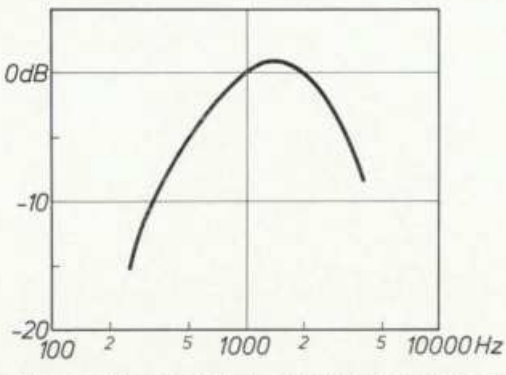


Fig. 21. Frequentiekarakteristiek van het Pocket Memo via opname en weergave. De frequentiekarakteristiek van de microfoon/luidspreker is niet inbegrepen. De voor spraakverstaanbaarheid belangrijke frequenties worden bevoordeeld.

Samenvatting. Het gebruik van cassettes voor geluidsband neemt ten gevolge van het bedieningsgemak en de goede bescherming van de band die zij bieden snel in omvang toe. Vooral dank zij de voortgaande verbetering van de banden is het thans mogelijk met eenvoudige in massa gefabriceerde cassetteapparaten bij een bandsnelheid van 4,76 cm/s frequenties tot 10 kHz te registreren en bij een spoorbreedte van 1,5 mm een signaal-ruisverhouding van 45 dB te realiseren. Dit maakte de ontwikkeling mogelijk van de Philips Compact Cassette met een speelduur tot 2 × 60 min toe (bij een banddikte van 9 μm); deze is ook in de handel met een stereofonisch voorbespeelde band (musicassette, max. speelduur 2 × 45 min). De bijbehorende opneem- en afspeelapparaten zijn merendeels draagbaar en voor batterijvoeding bestemd; een elektronische regeling houdt bij dalende batterijspanning het motortoerental constant.

Het Philips zakdicteerapparaat Pocket Memo is met een speciaal ervoor ontwikkelde, nog kleinere cassette uitgerust; de speelduur is maximaal 2 × 15 min. Het bandtransport wordt rechtstreeks door de opwikkelspoel verzorgd, wat bijdraagt tot eenvoud van constructie en kleine afmetingen van cassette en apparaat, alsmede tot een laag stroomverbruik.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Recente wetenschappelijke publikaties

Deze publikaties zijn afkomstig van medewerkers van laboratoria en fabrieken, behorende tot of samenwerkende met ondernemingen van het Philipsconcern, in het bijzonder van medewerkers van de navolgende research-laboratoria:

Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven *E*
Mullard Research Laboratories, Redhill (Surrey), Engeland *M*
Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquée, Limeil-Brévannes (Val-de-Marne), Frankrijk *L*
Philips Forschungslaboratorium Aachen GmbH, Weißhausstraße, 51 Aachen, Duitsland *A*
Philips Forschungslaboratorium Hamburg GmbH, Vogt-Kölln-Straße 30, 2000 Hamburg 54, Duitsland *H*
MBLE Laboratoire de Recherches, 2 avenue Van Becelaere, 1170 Brussel (Boitsfort), België *B*

Van de meeste dezer publikaties zullen binnenkort overdrukken beschikbaar zijn. Men kan deze aanvragen bij het betrokken laboratorium (zie de codeletter) of bij de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

J. A. Appels, E. Kooi, M. M. Paffen, J. J. H. Schatorjé & W. H. C. G. Verkuylen: Local oxidation of silicon and its application in semiconductor-device technology.
Philips Res. Repts. **25**, 118-132, 1970 (No. 2). *E*

J. B. de Boer & D. A. Schreuder (Philips Lighting Division, Eindhoven): Betrachtungen über die Anwendung von Halogenlampen für die Kraftfahrzeugbeleuchtung.
Lichttechnik **21**, 88A-92A, 1969 (No. 8).

J.-J. Brissot: Des cristaux pour les lasers.
Atomes **265**, 303-306, 1969. *L*

Ph. Delsarte & J. M. Goethals: Tri-weight codes and generalized Hadamard matrices.
Information and Control **15**, 196-206, 1969 (No. 2). *B*

R. Evrard & G.-A. Boutry (Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris): An absolute micromanometer using diamagnetic levitation.
J. Vacuum Sci. Technol. **6**, 279-288, 1969 (No. 2). *L*

L. F. Gee, D. W. Parker & P. Swift: A M.O.S.T. store.
Information Processing 68, Proc. IFIP Congress, Edinburgh 1968, Vol. 2, pp. 778-782. *M*

Y. Genin: Théorie du contrôle optimal et calcul des variations.
Rev. MBLE **12**, 29-42, 1969 (No. 2). *B*

G. Groh & M. Kock: 3-D display of X-ray images by means of holography.
Appl. Optics **9**, 775-777, 1970 (No. 3). *H*

F. N. Hooge, H. J. A. van Dijk & A. M. H. Hoppenbrouwers: $1/f$ noise in epitaxial silicon.
Philips Res. Repts. **25**, 81-86, 1970 (No. 2). *E*

F. N. Hooge & A. M. H. Hoppenbrouwers: Contact noise.
Physics Letters **29A**, 642-643, 1969 (No. 11). *E*

A. M. H. Hoppenbrouwers & F. N. Hooge: $1/f$ noise of spreading resistances.
Philips Res. Repts. **25**, 69-80, 1970 (No. 2). *E*

E. Krätzig, K. Walther & W. Schilz: Investigation of superconducting phase transitions in Pb-films with acoustic surface waves.
Physics Letters **30A**, 411-412, 1969 (No. 7). *H*

J. Liebertz: Einkristallzüchtung von Paratellurit (TeO_2).
Kristall und Technik **4**, 221-225, 1969 (No. 2). *A*

J. Liebertz: P,T,f-Werte von 4 n K_2CO_3-, Na_2CO_3- und NaOH-Lösungen unter hydrothermalen Bedingungen.
Chemie-Ing.-Technik **41**, 1231-1232, 1969 (No. 22). *A*

F. A. M. M. van Meel, A. C. van Maaren & G. J. van Weezel (Philips Lighting Division, Eindhoven): The influence of annealing on the recrystallization behaviour and the mechanical properties of doped and undoped molybdenum wire.
High Temperature Materials, 6th Plansee Seminar, Reutte/Tyrol 1968, pp. 172-181.

K. Mouthaan & H. P. M. Rupert: Second-harmonic tuning of the avalanche transit-time oscillator.
Proc. IEEE **57**, 1449-1450, 1969 (No. 8). *E*

A. van Oostrom: Application of a channel plate in field-ion microscopy.
Philips Res. Repts. **25**, 87-94, 1970 (No. 2). *E*

R. G. Pratt & T. C. Lim (Imperial College of Science and Technology, London): Acoustic surface waves on silicon.
Appl. Phys. Letters **15**, 403-405, 1969 (No. 12). *M*

J. E. Ralph & M. G. Townsend (Electricity Council Research Centre, Capenhurst, Chester, Cheshire): Fluorescence and absorption spectra of Ni^{2+} in MgO.
J. Physics C **3**, 8-18, 1970 (No. 1). *M*

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

J. Roos: Electrets, semipermanently charged capacitors.
J. appl. Phys. **40**, 3135-3139, 1969 (No. 8). *E*

J. F. Schouten (Institute for Perception Research, Eindhoven): Perils of perception in radiant radiology.
12th Int. Congress of Radiology, Tokyo 1969; Tokyo Monitor 1969, p. 42.

J. Schröder & F. J. Sieben: Bildungsenthalpie von Wolframhexafluorid und Wolframpentafluorid.
Chem. Berichte **103**, 76-81, 1970 (No. 1). *A*

J. M. Shannon, J. Stephen (U.K. Atomic Energy Authority, Harwell, England) **& J. H. Freeman** (U.K. At. En. Auth., Harwell): MOS frequency soars with ion-implanted layers.
Electronics **42**, No. 3, 96, 98-100, 1969. *M*

T. G. W. Stijntjes, J. Klerk (beiden Philips Electronic Components and Materials Division, Eindhoven) **& A. Broese van Groenou:** Permeability and conductivity of Ti-substituted MnZn ferrites.
Philips Res. Repts. **25**, 95-107, 1970 (No. 2). *E*

T. L. Tansley & J. E. Ralph: Analogue conductivity switch.
Electronics Letters **5**, 671, 1969 (No. 26). *M*

L. Verhoeven: Demodulation of PAL signals with two uncritical delay lines.
Electronics Letters **5**, 344-345, 1969 (No. 15). *E*

A. T. Vink, A. J. Bosman, J. A. W. van der Does de Bye & R. C. Peters: Low temperature luminescence in GaP at very low excitation densities.
Solid State Comm. **7**, 1475-1481, 1969 (No. 20). *E*

J. H. N. van Vucht, F. A. Kuijpers & H. C. A. M. Bruning: Reversible room-temperature absorption of large quantities of hydrogen by intermetallic compounds.
Philips Res. Repts. **25**, 133-140, 1970 (No. 2). *E*

W. L. Wanmaker, J. W. ter Vrugt & J. G. Verlijsdonk (Philips Lighting Division, Eindhoven): Luminescence of Mn^{2+}-activated spinels in the MgO-Li_2O-ZnO-Ga_2O_3-Al_2O_3 system.
Philips Res. Repts. **25**, 108-117, 1970 (No. 2).

Inhoud van Electronic Applications **29**, No. 3, 1969:

The D13-500, a high-frequency instrument cathode-ray tube (pp. 73-76).
M. J. Köppen: Vertical deflection amplifier for 300 MHz oscilloscope (pp. 77-91).
Semiconductor dE/dx detector (pp. 92-93).
J. Nicot, M. Basque, J. C. Lavenir & A. Rousset: 500 nanosecond 3D memory (pp. 94-102).
Reliability of the ZM1200 indicator tube (pp. 103-106).
W. M. C. Swanenburg: A graphical method for finding transistor parameters (pp. 107-110).
Improved delay line for colour television receivers (pp. 115-116).

Inhoud van Mullard Technical Communications **11**, No. 103, 1970:

A. Lindell: "Electronic parts of assessed quality": an outline of the BS9000 scheme (pp. 50-57).
M. C. Gander: Integrated video pre-amplifier, sync, a.g.c. and noise protection system for monochrome receivers (pp. 58-65).
D. J. Beakhust: Decoding circuits with colour-difference output (pp. 66-73).
J. Merrett: Dynamic stability of thyristor single-phase motor speed-control systems for d.c. shunt machines (pp. 75-80).

Inhoud van Mullard Technical Communications **11**, No. 104, 1970:

J. Merrett: Practical transient suppression circuits for thyristor power-control systems (pp. 82-88).
P. Bissmire: Simple a.f.c. system for 625-line tv receivers (pp. 89-93).
K. W. Stanley: Reliability and stability of metal film resistors (pp. 94-100).

Inhoud van Valvo Berichte **15**, No. 5, 1969:

J. Koch: Berechnung eines mit Ticonal 750 aufgebauten Lautsprecher-Kernmagnetsystems (pp. 139-155).
J. Brambring: Elektronenoptische Untersuchungen an Elektronenkanonen von Fernsehbildröhren (pp. 156-167).

Jaargang 31, 1970, no. 3 blz. 65-96 Verschenen 18 december 1970

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!